



**TUGAS AKHIR - SM 141501**

**ANALISIS RESIKO KERUGIAN DAN  
VOLATILITAS MULTIVARIAT INDEKS SAHAM  
SYARIAH INDONESIA DAN INDEKS SAHAM  
KONSTITUEN**

**AZIZAH WIDIASMARA  
NRP 1213 100 108**

**Dosen Pembimbing  
Drs. Soehardjoepri, M.Si.**

**DEPARTEMEN MATEMATIKA  
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2017**





**FINAL PROJECT - SM 141501**

**MULTIVARIATE RISK OF LOSS AND  
VOLATILITY ANALYSIS BETWEEN INDONESIA  
SHARIA STOCK INDEX AND CONTITUENT  
STOCK INDECES**

**AZIZAH WIDIASMARA  
NRP 1213 100 108**

**Supervisor  
Drs. Soehardjoepri, M.Si.**

**DEPARTMENT OF MATHEMATICS  
Faculty of Mathematics and Natural Sciences  
Institute Technology of Sepuluh Nopember  
Surabaya 2017**



**LEMBAR PENGESAHAN**

**ANALISIS RESIKO KERUGIAN DAN VOLATILITAS  
MULTIVARIAT INDEKS SAHAM SYARIAH DAN INDEKS  
SAHAM KONSTITUEN**

***MULTIVARIATE RISK OF LOSS AND VOLATILITY  
ANALYSIS BETWEEN INDONESIA SHARIA STOCK INDEX  
AND CONSTITUENT STOCK INDECS***


**TUGAS AKHIR**

Diajukan untuk memenuhi salah satu syarat  
Untuk memperoleh gelar Sarjana Sains  
Pada bidang studi Matematika Terapan  
Program Studi S-1 Departemen Matematika  
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya

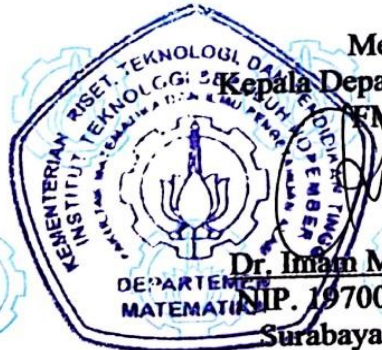
Oleh :

Azizah Widiasmara  
NRP. 1213100108

Menyetujui,  
Dosen Pembimbing,

  
Drs. Soehardjoepri / M.Si  
NIP.19620504 198701 1 001

Mengetahui,  
Kepala Departemen Matematika  
FEMIPA ITS

  
Dr. Imam Mukhlash, S.Si, MT  
NIP. 19700831 199403 1 003  
Surabaya, 1 Agustus 2017



# **ANALISIS RESIKO KERUGIAN DAN VOLATILITAS MULTIVARIAT INDEKS SAHAM SYARIAH INDONESIA DAN INDEKS SAHAM KONSTITUEN**

**Nama Mahasiswa : Azizah Widiasmara**  
**NRP : 1213 100 108**  
**Jurusan : Matematika**  
**Dosen Pembimbing: Drs. Soehardjoepri, M.Si.**

## **Abstrak**

*Perkembangan ekonomi dan perkembangan agama Islam yang ada di Indonesia mendorong munculnya pasar modal syariah yang ditandai oleh diluncurkannya ISSI (Indeks Saham Syariah Indonesia). ISSI ini merupakan salah satu alternatif yang ditawarkan IDX (Indonesia Exchange Stock) untuk para investor yang menginginkan indeks saham yang memiliki volatilitas dan resiko yang rendah serta return yang maksimal. Estimasi model VAR dan BEKK-GARCH digunakan untuk menghitung volatilitas dan hubungan antara ISSI dengan Indeks konstituen. Sedangkan untuk menghitung resiko secara empiris, dalam Tugas Akhir ini, digunakan Value at Risk Markowitz. ISSI volatilitas terkecil dan SRI-KEHATI memiliki Value at Risk yang terkecil sehingga ISSI dan SRI-KEHATI adalah indeks yang memiliki prospek yang baik untuk investor menginvestasikan dananya pada pasar modal di Indonesia.*

**Kata kunci : MGARCH-BEKK, VAR, Value at Risk, ISSI, Indeks Konstituen**





# **MULTIVARIATE RISK OF LOSS AND VOLATILITY ANALYSIS BETWEEN INDONESIA SHARIA STOCK INDEX AND CONTITUENT STOCK INDECES**

**Nama of Student : Azizah Widiasmara**  
**NRP : 1213 100 108**  
**Department : Matematika**  
**Supervisor : Drs. Soehardjoepri, M.Si.**

## **Abstract**

*The economy and Islam development in Indonesia is a factor of the Indonesian stock market to launch ISSI which is wished to be an alternative index for Indonesian investor who wants to invest in index that has a low volatility and risk as the Index would become a good purpose in investment. VAR model and BEKK-GARCH model estimation is used to know how the volatitility of ISSI and the constituent Indeces. This final project used Value at Risk method to know the amount of the risk from ISSI and constituent indeces. The result shows that ISSI and SRI-KEHATI have the least risk and volatility so, ISSI and SRI-KEHATI have a better prospect to investor.*

**Key Words : MGARCH BEKK, VAR, Value at risk, ISSI, constituents indeces**



## **KATA PENGANTAR**

Alhamdulillahirobbil'aalamiin, segala puji dan syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT yang telah memberikan limpahan rahmat, taufik serta hidayah-Nya, tak lupa salawat serta salam saya sampaikan kepada junjungan Nabi Muhammad SAW, akhirnya penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul

### **“ANALISIS RESIKO DAN VOLATILITAS MULTIVARIAT INDEKS SAHAM SYARIAH INDONESIA DAN INDEKS SAHAM KONSTITUEN”**

sebagai salah satu syarat kelulusan Program Sarjana Jurusan Matematika FMIPA Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya.

Tugas Akhir ini dapat diselesaikan dengan baik berkat bantuan dan dukungan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis menyampaikan ucapan terima kasih dan penghargaan kepada:

1. Kepala Departemen Matematika ITS yang telah memberikan dukungan dan motivasi selama perkuliahan hingga terselesaikannya Tugas Akhir ini.
2. Kaprodi S1 Departemen Matematika dan sekretaris prodi S1 yang telah memberikan arahan akademik selama penulis kuliah di Departemen Matematika FMIPA-ITS.
3. Bapak Drs. Soehardjoepri, M.Si sebagai dosen pembimbing yang telah memberikan motivasi dan pengarahan dalam penyelesaian Tugas Akhir ini.
4. Ibu Dra. Titik Mudjiati, M.Si, Drs. Suhud Wahyudi, M.Si, Ibu Sunarsini, S.Si, M.Si selaku dosen penguji.

5. Ibu Dra. Titik Mudjiati, M.Si sebagai dosen wali yang telah memberikan arahan akademik selama penulis kuliah di Jurusan Matematika FMIPA-ITS.
6. Bapak dan Ibu dosen serta para staf Jurusan Matematika ITS yang tidak dapat penulis sebutkan satu-persatu.
7. Kedua orang tua saya, Bapak R Budi Siswanto dan Ibu Luluk Pujiastuti atas dukungan, doa dan semangat yang telah diberikan.
8. Adik saya, Nabila Larasati dan Muhammad Panji Trihastoro yang selalu menjadi motivasi saya untuk menjadi kakak dan contoh yang baik.
9. Shahnaz, Jamu, Gitcew, Dara, dan Ulfa yang selalu ada disaat saya membutuhkan.
10. Dila, Hani dan Cahya yang selalu setia mendengar keluh kesah saya selama ini.
11. Mbak Sherly, Teteh Risma, Dinan, Nana, Kiki, dan Debi atas pengalaman yang berharga selama saya tinggal dikos.
12. Afyra, Dewi dan Tia yang menjadi teman sekaligus partner yang sangat baik
13. Bella, Wahyuni, Tiara dan teman teman Angkatan 2013 yang telah memberikan banyak kenangan di saat masa perkuliahan.

Penulis menyadari bahwa dalam penyusunan Tugas Akhir ini masih mempunyai banyak kekurangan. Kritik dan saran dari berbagai pihak yang bersifat membangun juga sangat diharapkan sebagai bahan perbaikan di masa yang akan datang.

Surabaya, Agustus 2017

Penulis

## Daftar Isi

	Hal
KATA PENGANTAR .....	xi
DAFTAR GAMBAR .....	xvii
DAFTAR TABEL .....	xix
DAFTAR LAMPIRAN .....	xxi
BAB 1 PENDAHULUAN .....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	2
1.3 Batasan Masalah .....	3
1.4 Tujuan .....	3
1.5 Manfaat .....	3
1.6 Sistematika Penulisan .....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA .....	5
2.1 Penelitian Terdahulu .....	5
2.2 Pasar Modal .....	6
2.2.1 Indeks LQ45 .....	6
2.2.2 Indeks KOMPAS100 .....	7
2.2.3 Indeks Saham Syariah Indonesia (ISSI) ...	7
2.2.4 Indeks BISNIS-27 .....	8
2.2.5 Indeks PEFINDO25 .....	8
2.2.6 Indeks SRI-KEHATI .....	9
2.3 Return Saham .....	9
2.4 Statistika Deskriptif .....	10
2.5 Transformasi Box-Cox .....	12
2.6 Uji Augmented Dickey Fuller .....	13
2.7 Model Vector Auto Regression .....	14
2.8 Uji Ljung-Box .....	15
2.9 Univariate GARCH .....	16
2.9 Model Multivariat BEKK-GARCH .....	16
2.10 Heteroskedastisitas .....	18

2.11	<i>Value at Risk</i> (VaR).....	19
BAB III METODOLOGI PENELITIAN .....		21
3.1	Data.....	21
3.2	Pengolahan Data.....	21
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....		23
4.1	Return ISSI dan indeks konstituen.....	23
4.2	Stasioneritas.....	24
4.3	Uji Ljung Box.....	32
4.4	Vector Autoregression.....	38
4.5	Uji L-jung Box (Model VAR).....	43
4.6	Uji Heteroskedatisitas (Uji <i>White</i> ).....	44
4.7.	Multivariat BEKK-GARCH.....	46
4.8.	Uji L-jung Box (Model BEKK GARCH).....	47
4.9	Value at Risk.....	47
BAB IV PENUTUP.....		58
5.1	Kesimpulan.....	58
5.2	Saran.....	58

## DAFTAR SIMBOL

$P_t$	: <i>closing stock price</i> index pada hari ke-t.
$P_{t-1}$	: <i>closing sock price</i> index pada hari ke-t-1.
$r_t$	: <i>return</i> harian waktu-t pada setiap <i>time series</i> ,
$\varepsilon_t$	: perubahan pada setiap <i>time series</i> di waktu-t yang bersesuaian dengan matriks, kondisional varian-kovarian $H_t$ .
$\theta_{01}$ dan $\theta_{02}$	: koefisien <i>long-term drift</i> ,
$\theta_{11}$ dan $\theta_{22}$	: pengaruh <i>return spillover</i> terhadap dirinya sendiri,
$\theta_{12}$	: pengaruh <i>return spillover</i> objek 1 terhadap objek 2,
$\theta_{21}$	: pengaruh <i>return spillover</i> objek 2 terhadap objek 1.
$k$	: <i>lag</i> maksimum,
$n$	: jumlah pengamatan,
$\hat{\rho}_k$	: autokorelasi residual untuk <i>lag</i> ke-k.
$\alpha$	: koefisien ARCH
$\beta$	: koefisien GARCH
$\omega$	: variansi konstan
$\varepsilon_{t-q}^2$	: volatilitas pada periode sebelumnya yang diukur sebagai lag dari residual kuadrat persamaan <i>mean</i> ,
$h_{t-p}^2$	: peramalan variansi dari periode sebelumnya.
$\sigma_1^2$	: variansi dari pasar pertama,
$\sigma_2^2$	: variansi dari pasar kedua,
$\rho_{12}$	: koefisien korelasi.





## DAFTAR GAMBAR

	Hal
<b>Gambar 4. 2</b> Plot Box-Cox Indeks BISNIS27.....	25
<b>Gambar 4. 3</b> Transformasi Box-Cox Indeks BISNIS27.....	25
<b>Gambar 4. 3</b> Plot Box-Cox ISSI.....	26
<b>Gambar 4. 4</b> Transformasi Box-Cox ISSI.....	26
<b>Gambar 4. 5</b> Plot Box-Cox Indeks KOMPAS100.....	27
<b>Gambar 4. 6</b> Transformasi Box-Cox Indeks KOMPAS100.....	27
<b>Gambar 4. 7</b> Plot Box-Cox Indeks LQ45.....	28
<b>Gambar 4. 8</b> Transformasi Box-Cox Indeks LQ45...	28
<b>Gambar 4. 9</b> Plot Box-Cox Indeks PEFINDO25.....	29
<b>Gambar 4. 10</b> Transformasi Box-Cox Indeks PEFINDO25.....	29
<b>Gambar 4. 11</b> Plot Box-Cox Indeks SRI-KEHATI.....	30
<b>Gambar 4. 12</b> Transformasi Box-Cox Indeks SRI- KEHATI.....	30



## DAFTAR TABEL

	Hal
<b>Tabel 2. 1</b> Transformasi dengan $\lambda$ .....	31
<b>Tabel 4. 1</b> Tabel Uji ADF Indeks Konstituen.....	31
<b>Tabel 4. 2</b> Uji Ljung Box Indeks BISNIS27.....	32
<b>Tabel 4. 3</b> Uji Ljung Box ISSI.....	33
<b>Tabel 4. 4</b> Uji Ljung Box Indeks KOMPAS100.....	34
<b>Tabel 4. 5</b> Uji Ljung Box Indeks LQ45.....	35
<b>Tabel 4. 6</b> Uji Ljung Box Indeks PEFINDO25.....	36
<b>Tabel 4. 7</b> Uji Ljung Box Indeks SRI-KEHATI.....	37
<b>Tabel 4. 8</b> Lag Length Criteria ISSI-BISNIS27.....	38
<b>Tabel 4. 9</b> Lag Length Criteria ISSI-KOMPAS100...	38
<b>Tabel 4. 10</b> Lag Length Criteria ISSI-LQ45.....	39
<b>Tabel 4. 11</b> Lag Length Criteria ISSI-PEFINDO25.	39
<b>Tabel 4. 12</b> Lag Length Criteria ISSI-SRIKEHATI...	40
<b>Tabel 4. 13</b> Uji Ljung Box Model VAR.....	43
<b>Tabel 4. 14</b> Uji L-jung Box Model BEKK.....	46
<b>Tabel 4. 15</b> <i>Conditional Mean</i> indeks konstituen.....	47
<b>Tabel 4. 16</b> <i>Conditional Mean</i> ISSI.....	47
<b>Tabel 4. 17</b> <i>Conditional standar deviation</i> ISSI dengan Indeks Kontituen.....	47



## DAFTAR LAMPIRAN

	Hal
<b>LAMPIRAN A</b>	Return Saham Indeks Konstituen.....61
<b>LAMPIRAN B</b>	Uji ADF.....68
<b>LAMPIRAN C</b>	Estimasi VAR.....72
<b>LAMPIRAN D</b>	Impulse Respon Indeks Konstituen...82
<b>LAMPIRAN E</b>	Variance Decomposition Indeks Konstituen.....88
<b>LAMPIRAN F</b>	Uji L-jung Box Model VAR.....93
<b>LAMPIRAN G</b>	Uji Heteroskedastisitas.....97
<b>LAMPIRAN H</b>	Estimasi BEKK-GARCH..... 103
<b>LAMPIRAN I</b>	Uji L-jung Box Model BEKK-GARCH..... 105
<b>LAMPIRAN J</b>	Model ADF.....109
<b>LAMPIRAN K</b>	Model VAR.....113
<b>LAMPIRAN L</b>	Model BEKK-GARCH.....129



## **BAB I**

### **PENDAHULUAN**

#### **1.1 Latar Belakang**

Seiring berjalannya waktu, sektor keuangan mengalami perkembangan salah satunya adalah Pasar Modal atau saham. Seiring perkembangannya, Indonesia Stock Exchange (IDX) meluncurkan beberapa indeks konstituen yang bertujuan untuk menjadi acuan investor yang ingin menginvestasikan uangnya pada pasar modal. Indeks Konstituen ini masing-masing memiliki kriteria tertentu dan selalu dilakukan monitoring berkala setiap waktunya.

Perkembangan dalam bidang saham ini pun memacu perkembangan lembaga-lembaga keuangan lainnya, sebagai contoh adalah perkembangan Pasar Modal yang berbasis syariah yang kini telah menjadi alternatif untuk investor yang ada di Indonesia. Pasar Modal yang berbasis syariah ini adalah Pasar Modal yang berjalan berdasarkan prinsip prinsip yang ditentukan oleh aturan aturan yang ada di dalam agama Islam.

Perkembangan Pasar Modal syariah ini berawal dari munculnya Reksa Dana Syariah pada 3 Juli 1997. Lalu, Reksa Dana berkerja sama dengan PT Bursa Efek Jakarta meluncurkan Jakarta Islamic Index (JII) pada 3 Juli 2000 yang mengeluarkan daftar daftar 30 saham terpilih berbasis syariah. Pada tanggal 14 Maret 2003 Pasar Modal Syariah Resmi diluncurkan. Instrumen intrumen dasar didirikannya Pasar Modal Syariah ditandatangani dan diresmikan oleh BAPEPAM-LK dan Dewan Syariah Nasional Majelis Ulama Indonesia (DSN-MUI). DSN-MUI bertugas untuk mengawasi dan mengevaluasi perusahaan perusahaan yang memenuhi standar syariah. Fatwa yang telah dikeluarkan DSN-MUI mengenai Pasar Modal Syariah ini sudah berjumlah 16 aturan, 7 diantaranya mengenai syarat syarat perusahaan yang layak untuk masuk dalam Indeks Saham Syariah

Indonesia (ISSI). Fatwa-fatwa MUI saat ini yang telah dikeluarkan adalah [1]

1. 20/DSN-MUI/IV/2001 Pedoman Pelaksanaan Investasi untuk Reksadana Syariah
2. 40/DSN-MUI/X/2003 Pasar Modal dan Pedoman Umum Penerapan Syariah di Bidang Pasar Modal
3. 65/DSN-MUI/III/2008 Hak Memesan Efek Terlebih Dahulu Syariah
4. 66/DSN-MUI/III/2008 Waran Syariah
5. 70/DSN-MUI/VI/2008 Metode Penerbitan Surat Berharga Syariah Negara
6. 71/DSN-MUI/VI/2008 Sale and Lease Back
7. 80/DSN-MUI/VI/2011 Penerapan Prinsip Syariah dalam Mekanisme Perdagangan Efek Bersifat Ekuitas di Pasar Reguler Bursa Efek

Fatwa diatas adalah acuan acuan dasar yang dipakai untuk menentukan apakah sebuah perusahaan tersebut termasuk dalam ISSI atau tidak. ISSI ini di evaluasi berkala setiap 6 bulan sekali yaitu pada bulan Juni dan bulan November.

Sebagai alternatif dari Indeks konstituen konvensional, ISSI diharapkan dapat memberikan solusi atas kebutuhan investor untuk menginvestasikan uangnya pada perusahaan yang memenuhi standar syariah. Tugas Akhir ini bertujuan untuk menghitung return, volatilitas, dan besarnya resiko pada Pasar Modal Syariah di Indonesia.

Berdasarkan latar belakang tersebut, dalam penulisan Tugas Akhir ini dibahas mengenai *transmisi shock* dan volatilitas pada ISSI dan indeks konstituen. Parameter yang diperoleh dari hasil estimasi model VAR dan BEKK-GARCH digunakan untuk melihat bagaimana return, volatilitas, dan resiko pada ISSI dan indeks konstituen.

## 1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah dari Tugas Akhir ini adalah



1. Bagaimana volatilitas yang dimiliki oleh ISSI dan indeks konstituen?
2. Bagaimana resiko secara empiris yang dimiliki oleh ISSI dan indeks konstituen?

### **1.3 Batasan Masalah**

Batasan masalah dari Tugas Akhir ini adalah

1. Data yang digunakan adalah *closed price* dari indeks saham konstituen non-syariah yang terdiri dari ISSI, LQ45, KOMPAS100, BISNIS-27, PEFINDO25, SRI-KEHATI.
2. Periode data yang digunakan pada Tugas Akhir ini adalah Mei 2011- Februari 2017.

### **1.4 Tujuan**

Tujuan dari Tugas Akhir ini adalah

1. Menghitung volatilitas dari ISSI dan indeks saham konstituen non-syariah
2. Menghitung resiko secara empiris ISSI dan indeks saham konstituen non-syariah

### **1.5 Manfaat**

Manfaat dari Tugas Akhir ini adalah

1. Menjadi acuan investor untuk membandingkan Indeks Konstituen mana yang memiliki volatilitas paling kecil.
2. Investor dapat meminimalisir resiko yang didapat pada portfolio sahamnya.

### **1.6 Sistematika Penulisan**

Penulisan Tugas Akhir ini disusun dalam lima bab sebagai berikut :

#### **BAB I PENDAHULUAN**

Berisi tentang latar belakang, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan, manfaat, dan sistematika penulisan pada Tugas Akhir.

#### **BAB II TINJAUAN PUSTAKA**

Menjelaskan dasar teori yang digunakan penulis dalam mengerjakan Tugas Akhir. Pada bab ini berisi tentang pengertian dan bentuk umum pada model VAR, BEKK-GARCH, tahapan yang dilakukan dalam pembentukan model secara *mean* dan *varian*, serta pengertian dan teori mengenai *Value at Risk Markowitz*.

### BAB III METODOLOGI TUGAS AKHIR

Menjelaskan alur kerja dan metode yang digunakan penulis dalam mengerjakan Tugas Akhir.

### BAB IV ANALISIS DAN PEMBAHASAN

Menyajikan tentang analisa data dan pembahasan dalam pembentukan model VAR, BEKK-GARCH, dan hasil dari perhitungan resiko secara empiris dengan *Value at Risk Markowitz*.

### BAB V KESIMPULAN

Berisi kesimpulan dari hasil analisis dalam Tugas Akhir ini.

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Penelitian Terdahulu

Penelitian yang menggunakan VAR dan BEKK-GARCH sudah pernah dilakukan oleh Ng Sew Lai, Chin Wen Cheong, Chong Lee Lee untuk meneliti bagaimana volatilitas dan resiko indeks sektoral saham. Variabel yang dipakai adalah Financial Times Stock Exchange Bursa Malaysia Emas Shariah Index (FTSE-FBMS), Kuala Lumpur Composite Index (KLCI) and 10 sektor saham konvensional Malaysia di Bursa Malaysia. Penelitian ini berjudul “*Multivariate Market Risk Evaluation between Malaysian Islamic Stock Index and Sectoral Indices*” data yang dipakai adalah dari tanggal 20 Maret 2007 sampai 27 November 2015. Hasil dari penelitian ini adalah *past mean return* dari FBMS mempengaruhi *current mean return* dari Kuala Lumpur Composite Index (KLCI), *construction* (CON), *consumer product* (CSU), *finance* (FIN), *industrial* (IND), *plantation* (PLN), *properties* (PRO), *trade and service* (SER), *tin and mining* (TIN), dan *technology* (TEC). Namun tidak berlaku untuk sebaliknya, *past mean return* dari KLCI, CON, CSU, FIN, IND, PRO, SER, TIN tidak berpengaruh terhadap *current mean return* dari FBMS. Selanjutnya dengan memeriksa co-movement volatilitas dari masing masing variable, terlihat adanya transmisi yang signifikan dari perubahan dan volatilitas pada setiap indeks atau dengan kata lain adanya efek dari ARCH dan GARCH. Hasil VaR setiap individu pada FBMS relatif lebih rendah dibandingkan dengan sektor yang lainnya, jadi dapat disimpulkan dalam penelitian ini ditemukan bahwa FBMS mempunyai kestabilan yang baik dibandingkan dengan sektor sektor yang lainnya. [2]

Penelitian yang lainnya dilakukan oleh Bernadeta Darina Kusbrahmiani pada tahun 2008 yang berjudul “Analisis Transmisi Shock dan Volatilitas antar Indeks Harga Saham Sektoral di Indonesia”. Hasil dari penelitian ini adalah *shock*

*transmission* dan *volatility transmission* dipengaruhi oleh shock dan volatilitas masa lalu dirinya sendiri dan juga sektor lainnya. Sektor perdagangan, jasa dan investasi adalah sektor yang paling banyak mendapatkan pengaruh langsung terhadap *shock transmission* dari sektor lainnya. Sedangkan yang paling sedikit menerima *shock transmission* adalah sektor pertanian dan sektor pertambangan. Untuk pengaruh *volatility transmission*, sektor yang paling banyak dipengaruhi oleh sektor lainnya adalah sektor infrastruktur, utilitas, dan transportasi. Sedangkan sektor industri dan sektor perdagangan adalah sektor yang paling sedikit mendapatkan pengaruh *volatility transmission* sektor lainnya. [3]

## **2.2 Pasar Modal**

Secara formal pasar modal dapat didefinisikan sebagai pasar untuk berbagai instrumen keuangan ataupun sekuritas jangka panjang yang dapat dijualbelikan, baik dalam bentuk hutang, maupun modal sendiri, baik diterbitkan oleh pemerintah maupun perusahaan swasta.

Pasar modal banyak dijumpai di berbagai negara karena pasar modal menjalankan fungsi ekonomi dengan menyediakan fasilitas untuk memindahkan dana dari *lenders* ke *borrowers*. Fungsi ini sebenarnya juga dilakukan oleh lembaga intermediasi keuangan lainnya, seperti perbankan. Bedanya, dalam pasar modal yang diperdagangkan adalah surat berharga dalam jangka panjang.

Secara umum, motivasi utama dari perdagangan saham adalah keutuhan modal bagi perusahaan yang ingin memajukan kinerjanya dengan menjual saham kepada para pemilik modal atau investor. [1]

### **2.2.1 Indeks LQ45**

Indeks LQ45 dikembangkan untuk menyediakan indeks yang merepresentasikan 45 saham yang memiliki likuiditas tinggi dan kapitalisasi yang besar. Berikut ini beberapa faktor saham tergabung dalam LQ45. [1]

1. Proses seleksi dilakukan atas 60 jenis saham yang memiliki rata rata nilai transaksi terbesar pada pasar regular dalam 12 bulan terakhir.
2. Dari ke-60 jenis saham tersebut, akan dipilih 45 jenis saham saja, dengan pembobotan atas nilai transaksi, kapitalisasi pasar, jumlah hari perdagangan, dan frekuensi transaksi pada pasar regular selama 12 bulan terakhir.
3. Saham saham tersebut harus termasuk dalam perhitungan Indeks Harga Saham Gabungan (ISHG).
4. Saham saham tersebut setidaknya telah 3 bulan terdaftar dalam Bursa Efek Indonesia.
5. Saham saham tersebut harus memiliki kecenderungan propek finansiam yang baik, prospek return, dan frekuensi perdagangan yang tinggi.

### **2.2.2 Indeks KOMPAS100**

Indeks KOMPAS100 diluncurkan oleh IDX dan Koran Harian Kompas. Perhitungan untuk indeks KOMPAS100 dimulai pada tanggal 2 Januari 2002 dengan jumlah 100 saham didalamnya. Indeks KOMPAS100 dievaluasi secara berkala 6 bulan sekali pada bulan Mei dan November setiap tahun. Saham yang dipilih pada indeks KOMPAS100 memiliki kriteria diantaranya.[1]

1. Terdaftar di IDX minimal 3 bulan.
2. Performa *trading* pada pasar modal yang meliputi nilai, volume dan frekuensi transaksi.
3. Jumlah *trading days* pada pasar modal.
4. Kapitalisasi pasar pada periode waktu tertentu.

### **2.2.3 Indeks Saham Syariah Indonesia (ISSI)**

Pada tanggal 12 Mei 2011, IDX meluncurkan ISSI yang penilaian dan evaluasinya berdasarkan prinsip prinsip syariah. ISSI dievaluasi setiap bulan Mei dan November oleh OJK setiap

tahun. Syarat-syarat perusahaan yang termasuk ISSI adalah yang tidak melanggar syariat-syariat islam diantaranya

1. Bukan merupakan perjudian
2. Trading yang diikuti dengan transfer produk atau jasa
3. Bukan merupakan trading dengan manipulasi atau penawaran palsu
4. Membeli dan menjual yang tidak mengandung spekulasi (*gharar*) dan *gambling* (*maisir*)
5. Tidak menawarkan produk dan jasa yang haram
6. Tidak menawarkan produk dan jasa yang mengandung sesuatu yang haram
7. Total hutang yang berbasis bunga dibandingkan dengan total assets tidak lebih dari 45%
8. Total pendapatan bunga dan pendapatan yang tidak halal lainnya dibandingkan dengan total pendapatan usaha dan pendapatan lain lain tidak lebih dari 10%

#### **2.2.4 Indeks BISNIS-27**

Pada tanggal 27 januari 2009, IDX dan Harian Bisnis Indonesia bersama meluncurkan Indeks BISNIS-27 yang bertujuan untuk menjadi indikator pada Pasar Kapital Indonesia. BISNIS-27 terdiri atas 27 saham yang dipilih atas kriteria fundamental dan teknik. Beberapa faktor fundamental pada saham yang dipilih adalah operating revenue, Net Profit, ROA, ROE (Return of Equity), DAR, LDR, dan CAR. Sedangkan untuk kriteria teknik terdiri atas jumlah transaksi pertahunnya, trading value, volume, frekuensi dan kapitalisasi pasar. Indeks BISNIS-27 dimonitor setiap bulan Mei dan November setiap tahun. [1]

#### **2.2.5 Indeks PEFINDO25**

Indeks PEFINDO25 diluncurkan pada tanggal 18 mei 2009 dibawah naungan antara IDX dan PT Pemeringkat Efek Indonesia (PEFINDO). Indeks PEFINDO25 terdiri dari 25 saham yang dipilih berdasarkan performa keuangan dan liquiditas. Setiap Februari dan Agustus setiap tahun, saham saham yang

berada di PEFINDO25 akan diperbarui. Berikut adalah kriteria perusahaan yang berada pada Indeks PEFINDO25. [1]

1. Mempunyai total aset kurang dari Rp 1 triliun, berdasarkan laporan keuangan perusahaan
2. Mempunyai ROE yang sama atau lebih tinggi dengan rata rata ROE perusahaan yang terdaftar pada IDX
3. Terdaftar pada IDX minimal 6 bulan
4. Dipilih berdasarkan likuiditas aspek dan jumlah saham yang dimiliki oleh publik.

### 2.2.6 Indeks SRI-KEHATI

Pada tanggal 8 Juni 2009, IDX bekerja sama dengan Yayasan Keanekaragaman Hayati Indonesia (Indonesian Biodiversity Foundation – KEHATI) untuk meluncurkan Indeks SRI-KEHATI. Yayasan KEHATI adalah organisasi yang berada pada bidang konservasi alam dan keberlanjutan keanekaragaman hayati. Metode yang digunakan untuk menyeleksi saham adalah mempertimbangkan bagaimana lingkungan, sosial dan pengelolaan yang baik pada perusahaan tersebut. Indeks SRI-KEHATI ini dimonitor pada bulan Mei dan November setiap tahun. [1]

### 2.3 Return Saham

*Return*  $r$  adalah keuntungan yang diperoleh perusahaan, kelompok atau individu karena melakukan investasi di Pasar Modal. Ada 2 jenis penghitungan return yaitu *periodic compounding return* dan *continuous compounding return*. *Periodic compounding return* dihitung dengan rumus [3]

$$\begin{aligned}
 r_t &= \frac{P_t - P_{t-1}}{P_{t-1}} \\
 &= \frac{P_t}{P_{t-1}} - 1
 \end{aligned}$$

Perhitungan *return* yang lain yaitu *continuous compounding return* yang memiliki persamaan

$$r_t = \ln P_t - \ln P_{t-1}, \quad t = 1, 2, \dots, T \quad (2.1)$$

dengan,

$P_t$  : *closing stock price index* pada hari ke- $t$ ,

$P_{t-1}$  : *closing sock price index* pada hari ke- $t-1$ .

## 2.4 Statistika Deskriptif

Dalam Tugas Akhir ini statistik deskriptif yang digunakan adalah rata-rata dan varian-kovarian. Karena data dalam Tugas Akhir ini Mulivariate, maka rata rata dan varian kovariannya berbentuk matriks. Misal  $x_{11}, x_{21}, \dots, x_{n1}$  adalah  $n$ -nilai untuk variabel pertama, maka rata-ratanya adalah [4]

$$\hat{\mu}_1 = \frac{1}{n-1} \sum_{j=1}^n x_{j1} ; j = 1, 2, 3 \dots n$$

Secara umum rata-rata pada  $n$ -nilai di  $p$ -variabel, dapat dihitung dengan

$$\hat{\mu}_k = \frac{1}{n-1} \sum_{j=1}^n x_{jk} , \quad \begin{matrix} k = 1, 2, 3 \dots p ; \\ j = 1, 2, \dots, n \end{matrix} \quad (2.2)$$

maka matriks rata rata nya adalah

$$\hat{\mu} = \begin{bmatrix} \mu_1 \\ \mu_2 \\ \vdots \\ \mu_k \end{bmatrix}$$

Variansi didefinisikan oleh



$$\hat{\sigma}_1^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{j=1}^n (x_{j1} - \mu_1)^2$$

$\mu_1$  adalah rata-rata untuk  $x_{j1}$ , maka variansi untuk variabel  $-p$  adalah

$$\hat{\sigma}_k^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{j=1}^n (x_{jk} - \mu_k)^2, \quad k = 1, 2, \dots, p$$

Lalu, dibuat notasi baru  $\sigma_{kk}$  untuk melambangkan variansi yang dihitung dari variabel ke- $k$

$$\hat{\sigma}_k^2 = \hat{\sigma}_{kk} = \frac{1}{n-1} \sum_{j=1}^n (x_{jk} - \mu_k)^2, \quad k = 1, 2, \dots, p \quad (2.3)$$

Nilai kovariansi dari variabel  $i$  dengan variabel  $k$   $\sigma_{ik}$  dapat dihitung menjadi persamaan

$$\hat{\sigma}_{ik} = \frac{1}{n-1} \sum_{j=1}^n (x_{ji} - \mu_i)(x_{jk} - \mu_k), \quad \begin{matrix} k = 1, 2, \dots, p; \\ i = 1, 2, \dots, p \end{matrix} \quad (2.4)$$

maka matriks varian dan kovarian atau yang biasa dilambangkan dengan  $\Sigma$  adalah

$$\Sigma = \begin{bmatrix} \hat{\sigma}_{11} & \hat{\sigma}_{12} & \dots & \hat{\sigma}_{1p} \\ \hat{\sigma}_{21} & \hat{\sigma}_{22} & \dots & \hat{\sigma}_{2p} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \hat{\sigma}_{p1} & \hat{\sigma}_{p2} & \dots & \hat{\sigma}_{pp} \end{bmatrix}$$

Koefisien korelasi untuk variable ke- $i$  dan variable ke- $k$  didefinisikan

$$\hat{\rho}_{ik} = \frac{\hat{\sigma}_{ik}}{\sqrt{\hat{\sigma}_{ii}}\sqrt{\hat{\sigma}_{kk}}}$$

$$= \frac{\sum_{j=1}^n (x_{ji} - \hat{\mu}_1)(x_{jk} - \hat{\mu}_k)}{\sqrt{\sum_{j=1}^n (x_{ji} - \hat{\mu}_1)^2} \sqrt{\sum_{j=1}^n (x_{jk} - \hat{\mu}_k)^2}}$$

dengan  $i = 1, 2, \dots, p$  dan  $k = 1, 2, \dots, p$ ,  $\rho_{ik} = \rho_{ki}$ , maka matriks korelasinya adalah

$$\hat{\rho} = \begin{bmatrix} \frac{\hat{\sigma}_{11}}{\sqrt{\hat{\sigma}_{11}\sqrt{\hat{\sigma}_{11}}}} & \frac{\hat{\sigma}_{12}}{\sqrt{\hat{\sigma}_{11}\sqrt{\hat{\sigma}_{22}}}} \dots & \frac{\hat{\sigma}_{1p}}{\sqrt{\hat{\sigma}_{11}\sqrt{\hat{\sigma}_{pp}}}} \\ \frac{\hat{\sigma}_{21}}{\sqrt{\hat{\sigma}_{22}\sqrt{\hat{\sigma}_{11}}}} & \frac{\hat{\sigma}_{22}}{\sqrt{\hat{\sigma}_{22}\sqrt{\hat{\sigma}_{22}}}} \dots & \frac{\hat{\sigma}_{2p}}{\sqrt{\hat{\sigma}_{22}\sqrt{\hat{\sigma}_{pp}}}} \\ \vdots & & \vdots \\ \frac{\hat{\sigma}_{p1}}{\sqrt{\hat{\sigma}_{pp}\sqrt{\hat{\sigma}_{11}}}} & \dots & \frac{\hat{\sigma}_{pp}}{\sqrt{\hat{\sigma}_{pp}\sqrt{\hat{\sigma}_{pp}}}} \end{bmatrix} \quad (2.5)$$

$$= \begin{bmatrix} 1 & \hat{\rho}_{12} & \dots & \hat{\rho}_{1p} \\ \hat{\rho}_{21} & 1 & \dots & \hat{\rho}_{2p} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \hat{\rho}_{p1} & \hat{\rho}_{p2} & \dots & 1 \end{bmatrix}$$

## 2.5 Transformasi Box-Cox

Transformasi Box Cox adalah transformasi pangkat pada respon atau yang biasa disebut dengan variabel endogen. Parameter pada transformasi box cox dilambangkan dengan  $\lambda$  sehingga persamaan akan menjadi [5]

**Tabel 2. 1** Transformasi dengan  $\lambda$

$\lambda$	Transformasi $\lambda$
2	$(r_t)^2$
0.5	$\sqrt{r_t}$
0	$\ln r_t$
-0.5	$\frac{1}{\sqrt{r_t}}$

-1.0	$\frac{1}{r_t}$
------	-----------------

Berikut ini adalah langkah langkah yang digunakan untuk menduga  $\lambda$  pada transformasi box-cox

1. Pilih  $\lambda$  pada rentang nilai yang ditentukan. Umumnya rentang yang dipilih berkisar -2 sampai dengan 2 atau berkisar -1 sampai dengan 1
2. Masing masing nilai  $\lambda$  dibuat model Transformasi box cox yaitu

$$r'_t = \mu + \theta r_{t-1} + \varepsilon$$

Dengan  $W$  yang juga memiliki persamaan

$$r'_t = \begin{cases} \frac{((r_t)^\lambda - 1)}{\lambda}, \lambda \neq 0 \\ \ln(r_t), \lambda = 0 \end{cases}$$

3. Setelah mendapatkan model regresi, akan dihitung jumlah kuadrat sesatan (JKS) yang diestimasi menggunakan metode maksimum likelihood. Persamaan JKS adalah

$$J(\lambda, r_t) = \prod_1^n \frac{\partial r'_t}{\partial r_t} = \prod_1^n (r_t)^{\lambda-1}$$

4. Plot antara JKS dan  $\lambda$
5.  $\lambda$  yang dipilih adalah  $\lambda$  yang memiliki nilai JKS yang paling kecil.

## 2.6 Uji Augmented Dickey Fuller

Uji Augmented Dickey Fuller (ADF) digunakan untuk menguji kestasioneran data pada model autoregressive berorde 2 atau lebih. Sebelum menentukan model dari VAR, data yang akan diolah haruslah stasioner. Model dari uji ADF adalah sebagai berikut [6]

$$\Delta r_t = \mu + \beta r_{t-1} + \sum_{i=1}^p \delta_i \Delta r_{t-i} + \varepsilon_t$$

dengan,

$\mu$  : Konstanta,

$\beta$  : bernilai  $\varphi - 1$ ,  $\varphi$  adalah parameter AR (1).

$\delta$  : parameter pada beda hingga pada waktu ke- $i$

Hipotesis

$H_0: \beta = 0$  (data mengandung root square/ data bersifat stasioner)

$H_1: \beta < 0$  (data tidak mengandung root square/data bersifat stasioner)

Nilai  $\beta$  diduga melalui metode kuadrat terkecil dan pengujian dilakukan dengan uji t-statistik uji-nya adalah

$$t_{hitung} = \frac{\hat{\beta}}{\sigma_{\hat{\beta}}} \quad (2.6)$$

dengan,

$\hat{\beta}$  : nilai dugaan  $\beta$ ,

$\sigma_{\hat{\beta}}$  : simpangan baku dari  $\hat{\beta}$ .

Jika nilai  $t_{hitung} <$  nilai kritis MacKinnon ( $\alpha$ ), maka  $H_0$  atau data bersifat stasioner [7]

## 2.6 Model Vector Auto Regression

Model Vector Auto Regression (VAR) merupakan sistem persamaan dinamis yang digunakan untuk menduga bahwa suatu peubah atau variabel pada periode tertentu bergantung pada volatilitas variabel tersebut dimasa lampau .

Pada Tugas Akhir, VAR digunakan untuk memodelkan  $r_t$  yang merupakan kasus *bivariate* maka persamaan *mean* nya menjadi [2]

$$r_{1,t} = \theta_{01} + \theta_{11}r_{1,t-1} + \theta_{12}r_{2,t-1} \quad (2.7)$$

$$r_{2,t} = \theta_{02} + \theta_{21}r_{1,t-1} + \theta_{22}r_{2,t-1} \quad (2.8)$$

dengan,

$r_{1,t}$  dan  $r_{2,t}$  : *conditional mean* untuk objek pertama dan kedua secara berurutan,

$\theta_{01}$  dan  $\theta_{02}$  : koefisien *long-term drift*,

$\theta_{11}$  dan  $\theta_{22}$  : pengaruh *return spillover* terhadap dirinya sendiri,  
 $\theta_{12}$  : pengaruh *return spillover* objek 1 terhadap objek 2,  
 $\theta_{21}$  : pengaruh *return spillover* objek 2 terhadap objek 1.

Hipotesis yang diuji untuk melihat apakah parameter signifikan atau tidak pada model VAR adalah

$$H_0 : \theta_{jk} = 0$$

$$H_0 : \theta_{jk} \neq 0$$

Nilai  $\theta_{jk}$  dihitung dengan metode kuadrat terkecil dan statistik ujinya adalah

$$t_{hit} = \frac{\theta_{kj}}{\hat{\sigma}_{\theta_{kj}}}$$

jika nilai  $|t_{hit}| > t_{v, \alpha/2}$ , maka keputusan yang diambil adalah  $H_0$  ditolak, atau dengan kata lain parameter signifikan.

## 2.7 Uji Ljung-Box

Model diagnostik Ljung Box digunakan pada standardized residual untuk memeriksa adanya korelasi [8]

Hipotesa

$H_0$ : *standardized residual series* bersifat random

$H_1$ : *standardized residual series* tidak bersifat random/  
berkorelasi

Statistik Uji

$$Q = n(n+2) \sum_{k=1}^k \frac{\hat{\rho}_k^2}{n-k}, n > k \quad (2.9)$$

dengan,

$k$  : lag maksimum,

$n$  : jumlah pengamatan,

$\hat{\rho}_k$  : autokorelasi residual untuk lag ke- $k$ .

dengan menggunakan  $\alpha = 0.05$ , jika  $Q < \chi^2_{(\alpha; k-p-q)}$ , maka  $H_0$  diterima artinya residual bersifat *random*. Dengan cara lain menggunakan kriteria  $P - value$ , jika  $P - value > \alpha$  maka dapat disimpulkan residual bersifat *random*.

## 2.8 Univariate GARCH

Model *Generalized Auto Regressive Conditional Heteroscedasticity* (GARCH) adalah bentuk general dari model ARCH. dengan ordo (p,q) dapat ditulis sebagai berikut [3]

$$h_t^2 = \omega + \alpha_0 + \alpha_1 \varepsilon_{t-1}^2 + \dots + \alpha_q \varepsilon_{t-q}^2 + \beta_1 h_{t-1}^2 + \beta_p h_{t-p}^2$$

dengan,

- $\alpha$  : koefisien ARCH untuk mengukur besarnya pengaruh shock yang terjadi,
- $\beta$  : koefisien GARCH untuk mengukur pengaruh volatilitas yang terjadi,
- $\omega$  : variansi konstan,
- $\varepsilon_{t-q}^2$  : volatilitas pada periode sebelumnya yang diukur sebagai lag dari residual kuadrat persamaan *mean*,
- $h_{t-p}^2$  : peramalan variansi dari periode sebelumnya.

Besarnya nilai parameter  $\alpha$  dan  $\beta$  menunjukkan *short-run dynamics* dari hasil volatilitas runtun waktu. Makin tinggi  $\beta$  menunjukkan bahwa *shocks* pada variansi akan membutuhkan waktu lama untuk kembali (*persistence*), sedangkan makin tinggi nilai  $\alpha$  menunjukkan bahwa reaksi dari volatilitas sangat intensif terhadap pergerakan pasar. [3]

## 2.9 Model Multivariat BEKK-GARCH

Multivariat GARCH merupakan perluasan model dari univariat GARCH. Jika univariat GARCH hanya memiliki satu variansi maka multivariat GARCH ini memiliki n-variansi yang dinyatakan dengan matriks *conditional variance-covariance* dari *zero mean random variables* ( $\varepsilon_t$ ). Model BEKK memperlihatkan adanya hubungan *lagged* variansi yang mempengaruhi kovariansi. Untuk lebih jelasnya berikut dijelaskan persamaan lebih lanjut [2]

Model ini dapat ditulis sebagai berikut. [3]

$$\begin{aligned}
 h_{11,t} &= c_{11}^{0\ 2} + a_{11}^{*2} \varepsilon_{1,t-1}^2 + 2a_{11}^* a_{21}^* \varepsilon_{1,t-1} \varepsilon_{2,t-1} + a_{21}^{*2} \varepsilon_{2,t-1}^2 \\
 &\quad + g_{11}^{*2} h_{11,t-1} + 2g_{11}^* g_{21}^{*2} h_{12,t-1} + g_{21}^{*2} h_{22,t-1} \\
 h_{12,t} &= c_{12}^0 c_{11}^0 + a_{11}^* a_{12}^* \varepsilon_{1,t-1}^2 + (a_{12}^* a_{21}^* + a_{11}^* a_{22}^*) \varepsilon_{1,t-1} \varepsilon_{2,t-1} \\
 &\quad + a_{21}^* a_{22}^* \varepsilon_{2,t-1}^2 + g_{11}^* g_{12}^* h_{11,t-1} \\
 &\quad + (g_{12}^* g_{21}^* + g_{11}^* g_{22}^*) h_{12,t-1} + g_{21}^* g_{22}^* h_{22,t-1} \\
 h_{22,t} &= c_{12}^{0\ 2} + c_{22}^{0\ 2} + a_{12}^{*2} \varepsilon_{1,t-1}^2 + 2a_{12}^* a_{22}^* \varepsilon_{1,t-1} \varepsilon_{2,t-1} \\
 &\quad + a_{22}^{*2} \varepsilon_{2,t-1}^2 + g_{12}^{*2} h_{11,t-1} + 2g_{12}^* g_{22}^{*2} h_{12,t-1} \\
 &\quad + g_{22}^{*2} h_{22,t-1}
 \end{aligned}$$

dengan,

- $h_{11,t}$  : conditional variance (volatilitas) pada ISSI
- $h_{12,t}$  : conditional covariance antara ISSI dan indeks konstituen
- $h_{22,t}$  : conditional variance (volatilitas) pada indeks konstituen
- $a_{11}^*$  : besarnya reaksi ISSI terhadap shock yang terjadi pada ISSI
- $a_{12}^*$  : Shock transmission secara langsung dari ISSI ke indeks konstituen
- $a_{21}^*$  : Shock transmission secara langsung dari indeks konstituen ke ISSI
- $a_{22}^*$  : besarnya reaksi indeks konstituen terhadap shock yang terjadi pada indeks konstituen
- $g_{11}^*$  : Volatilitas presisten pada ISSI
- $g_{22}^*$  : Volatilitas presisten pada indeks konstituen

Pada model unrestricted BEKK, jumlah parameter akan meningkat secara signifikan sejalan dengan meningkatnya jumlah variabel/pasar. Selanjutnya pada model bivariate, terdapat kekurangan pada interpretasi parameter karena tidak adanya persamaan yang hanya mengatur pada parameter dirinya sendiri. Maka, model diagonal BEKK dimana matrik A dan G yang memiliki nilai nol pada selain diagonalnya. Hasilnya, nilai parameter berkurang namun, spesifikasi *positive definiteness* pada *conditional variance-covariance* tetap selama proses optimalisasi fungsi *log-likelihood*. [2]

Model diagonal BEKK nya adalah

$$\mathbf{H}_t = \mathbf{CC}' + \begin{bmatrix} a_{11} & 0 \\ 0 & a_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \varepsilon_{1t-1}^2 & \varepsilon_{1t-1}\varepsilon_{2t-1} \\ \varepsilon_{2t-1}\varepsilon_{1t-1} & \varepsilon_{2t-1}^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_{11} & 0 \\ 0 & a_{22} \end{bmatrix}' \\ + \begin{bmatrix} g_{11} & 0 \\ 0 & g_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} h_{11t-1} & h_{12t-1} \\ h_{21t-1} & h_{22t-1} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} g_{11} & 0 \\ 0 & g_{22} \end{bmatrix}'$$

Persamaan diatas dapat diuraikan menjadi,

$$\begin{aligned} h_{11,t} &= c_{11}^2 + a_{11}^2 \varepsilon_{1t-1}^2 + b_{11}^2 h_{11t-1} \\ h_{12,t} &= c_{21}c_{11} + a_{11}a_{22}\varepsilon_{1t-1}\varepsilon_{2t-1} + b_{11}b_{22}h_{12t-1} \\ h_{22,t} &= c_{21}c_{11} + c_{22}^2 + a_{22}^2 \varepsilon_{1t-1}^2 + b_{22}^2 h_{11t-1} \end{aligned} \quad (2.10)$$

dengan,

- $h_{11,t}$  : conditional variance (volatilitas) pada ISSI
- $h_{12,t}$  : conditional covariance antara ISSI dan indeks konstituen
- $h_{22,t}$  : conditional variance (volatilitas) pada indeks konstituen
- $a_{11}^*$  : besarnya reaksi ISSI terhadap shock yang terjadi pada ISSI
- $a_{22}^*$  : besarnya reaksi indeks konstituen terhadap shock yang terjadi pada indeks konstituen
- $g_{11}^*$  : Volatilitas presisten pada ISSI
- $g_{22}^*$  : Volatilitas presisten pada indeks konstituen

## 2.10 Heteroskedasitas

Uji Heteroskedasitas adalah uji yang digunakan untuk mengetahui apakah variansi eror konstan atau tidak. Pemodelan dengan error yang bersifat heteroskedastik memiliki asumsi bahwa eror  $\varepsilon_t$  terdistribusi normal dengan varians  $\sigma^2$  dengan  $\text{var}(\varepsilon_t) = E(\varepsilon_t^2) = \sigma_t^2$  tidak konstan pada saat observasi dilakukan.

Pengidentifikasi adanya unsur heteroskedastisitas dilakukan sebelum melakukan analisa model MGARCH-BEKK. Pengujiannya dilakukan dengan Uji *White* dengan menggunakan residual kuadrat. [8]

Hipotesa:

$H_0$  : Tidak terdapat unsur heteroskedastisitas



$H_1$  : Terdapat unsur heteroskedastisitas

Statistik Uji:

$$X^2 = nR^2 \quad (2.11)$$

dengan,

$n$  : jumlah pengamatan yang digunakan,

$R^2$  : residual kuadrat.

Kriteria Pengujian:

Karena pada Tugas Akhir ini menggunakan data sekunder, maka digunakan  $\alpha = 0.5$ , jika nilai  $X^2 > \chi^2_{tabel}$  maka  $H_0$  ditolak yang artinya terdapat unsur heteroskedastisitas [8]

## 2.11 Value at Risk (VaR)

Definisi Value at Risk dari suatu saham adalah ringkasan peluang kerugian maksimum selama periode waktu tertentu. Misal  $\Delta r_i(l)$  adalah variasi dari nilai *return* pada pasar modal dari waktu  $t$  ke  $t+l$ , jadi peluangnya didefinisikan sebagai [2]

$$\alpha = P(\Delta r_i(l) \leq VaR_i^{long})$$

Quantil individu  $VaR_i^{long}$  mengacu kepada distribusi kiri bawah estimasi ARCH yang didefinisikan

$$VaR_i^{long} = r_{i,t} + d_q \ddot{o}_{i,t} \quad (2.12)$$

dengan,

$r_{i,t}$  : estimasi *Vector Autoregression* pada waktu  $t+1$ ,

$\ddot{o}_{i,t}$  : kondisional varians kovarian BEKK-GARCH,

$d$  : nilai dari distribusi-t dengan derajat kebebasan  $n-2$ .

Untuk mengetahui mekanisme transmisi dinamis pada *multiple market*, volatilitas variasi waktu dibutuhkan untuk menghitung *cross market* VaR. standar deviasi dari portofolio,  $\sigma_{portofolio}$ , untuk *return* dua pasar pada fungsi penggunaan *mean-variance Markowitz* adalah [2]

$$\sigma_{portofolio} = \sqrt{w_1^2 \hat{\sigma}_1^2 + w_2^2 \hat{\sigma}_2^2 + 2w_1 w_2 \hat{\rho}_{12} \hat{\sigma}_1 \hat{\sigma}_2} \quad (2.13)$$

dengan,

$\hat{\sigma}_1^2$  : variansi dari pasar pertama,  
 $\hat{\sigma}_2^2$  : variansi dari pasar kedua,  
 $\hat{\rho}_{12}$  : koefisien korelasi.

Diberikan portfolio dengan ekspektasi *return* nol, maka portofolio minimalisasi resiko nya adalah

$$w_{12,t} = \frac{\hat{\sigma}_{2,t}^2 - \hat{\sigma}_{12,t}}{\hat{\sigma}_{1,t}^2 - 2\hat{\sigma}_{12,t} + \hat{\sigma}_{2,t}^2} \quad (2.14)$$

dengan  $w_{12,t}$  adalah *portfolio weight* untuk relatif pasar pertama terhadap pasar kedua ( $1 - w_{12,t}$ ) pada waktu tertentu. Misalkan,  $b$  adalah jumlah yang harus diinvestasikan investor pada ISSI. Pada fungsi kegunaan *mean-variance*, portofolio optimal pada 2 pasar didasari oleh [2]

$$b = \begin{cases} 0 & ; w_{12,t} \leq 0 \\ w_{12,t} & ; 0 < w_{12,t} < 1 \\ 1 & ; w_{12,t} \geq 1 \end{cases} \quad (2.15)$$

Selain perhitungan VaR, minimalisasi resiko juga dapat diestimasi menggunakan BEKK-GARCH analisis. Untuk meminimalisir perubahan harga pada portofolio, *hedge ratio* menunjukkan bahwa setiap unit dari kapital dengan, posisi lama (jual) berada di pasar pertama, investor haruslah mempunyai penjualan pendek pada  $\beta_t$  pada pasar kedua. *Hedge ratio* optimalnya adalah [2]

$$\beta_t = \frac{\ddot{\sigma}_{12,t}}{\ddot{\sigma}_{2,t}^2} \quad (2.16)$$

Dengan,

$\ddot{\sigma}_{12,t}$  : *conditional covariance* ISSI dengan indeks konstituen,  
 $\ddot{\sigma}_{2,t}^2$  : *Conditional variance* indeks konstituen.

### **BAB III**

#### **METODOLOGI PENELITIAN**

Pada bab ini dijelaskan metode yang digunakan dalam Tugas Akhir ini.

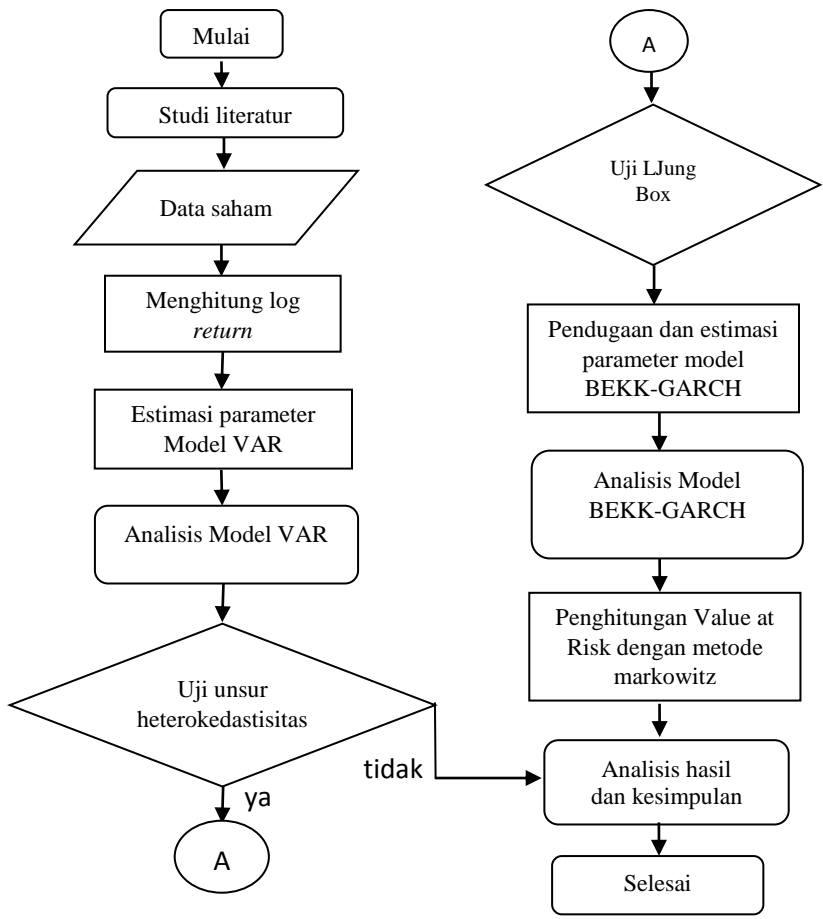
#### **3.1 Data**

Data yang digunakan adalah data harian indeks harga saham indeks konstituen di Bursa efek Indonesia, dengan periode 12 Mei 2011 sampai dengan 12 Februari 2017. Jumlah indeks konstituen yang dipilih adalah 5 indeks konstituen diantara 13 indeks konstituen lainnya yaitu ISSI, LQ45, KOMPAS100, PEFINDO25, SRI-KEHATI. Data diambil berasal dari *historical prices* yang ada pada *google finance*.

#### **3.2 Pengolahan Data**

Pada tahapan ini, data yang diambil diolah untuk mengetahui volatilitas, return, dan resiko pada indeks harga saham konstituen. Pertama conditional mean akan dimodelkan dengan metode VAR lalu residu yang terdapat pada model VAR akan di modelkan pada level varians-kovarians dengan menggunakan metode Asimetri BEKK-GARCH. Setelah itu akan dihitung resiko pada setiap indeks saham konstituen dengan menggunakan metode *Value at Risk*.

Berikut adalah diagram alir untuk pengerjaan Tugas Akhir ini



**Gambar 3. 1** Diagram Alir

## BAB IV

### HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini dijelaskan hasil pengolahan data dengan BEKK-GARCH untuk mengetahui bagaimana volatilitas dan *Markowitz* untuk mengetahui resiko secara empiris pada 5 indeks saham konstituen yaitu ISSI, LQ45, KOMPAS100, BISNIS27, PEFINDO25, dan SRI-KEHATI.

#### 4.1 Return ISSI dan indeks konstituen

Tahap pertama yang dilakukan dalam tugas akhir ini adalah menghitung return dari ISSI, LQ45, KOMPAS100, BISNIS27, PEFINDO25, dan SRI-KEHATI. Data harga saham yang digunakan adalah *closed price* data harian periode 12 Mei 2011 sampai dengan 28 Februari 2017.

Berdasarkan persamaan (2.1) perhitungan return pada ISSI dan indeks konstituen adalah

##### 1. ISSI

$$\begin{aligned}r_1 &= \ln P_1 - \ln P_0 = 0.003037687 \\r_2 &= \ln P_2 - \ln P_1 = -0.001835 \\r_3 &= \ln P_3 - \ln P_2 = 0.002409 \\&\vdots \\r_{1418} &= \ln P_{1418} - \ln P_{1417} = 0.211692\end{aligned}$$

##### 2. BISNIS27

$$\begin{aligned}r_1 &= \ln P_1 - \ln P_0 = 0.00162873 \\r_2 &= \ln P_2 - \ln P_1 = -0.00265604 \\r_3 &= \ln P_3 - \ln P_2 = 0.00585694 \\&\vdots \\r_{1418} &= \ln P_{1418} - \ln P_{1417} = 0.00389523\end{aligned}$$

## 3. KOMPAS100

$$\begin{aligned}
r_1 &= \ln P_1 - \ln P_0 = -0.00154286 \\
r_2 &= \ln P_2 - \ln P_1 = -0.00204173 \\
r_3 &= \ln P_3 - \ln P_2 = 0.00280846 \\
&\vdots \\
r_{1418} &= \ln P_{1418} - \ln P_{1417} = 0.00683723
\end{aligned}$$

## 4. LQ45

$$\begin{aligned}
r_1 &= \ln P_1 - \ln P_0 = -0.00118670 \\
r_2 &= \ln P_2 - \ln P_1 = -0.00234687 \\
r_3 &= \ln P_3 - \ln P_2 = 0.00307440 \\
&\vdots \\
r_{1418} &= \ln P_{1418} - \ln P_{1417} = 0.00618851
\end{aligned}$$

## 5. PEFINDO25

$$\begin{aligned}
r_1 &= \ln P_1 - \ln P_0 = -0.00293782 \\
r_2 &= \ln P_2 - \ln P_1 = -0.00301046 \\
r_3 &= \ln P_3 - \ln P_2 = -0.00483569 \\
&\vdots \\
r_{1418} &= \ln P_{1418} - \ln P_{1417} = 0.00578650
\end{aligned}$$

## 6. SRI-KEHATI

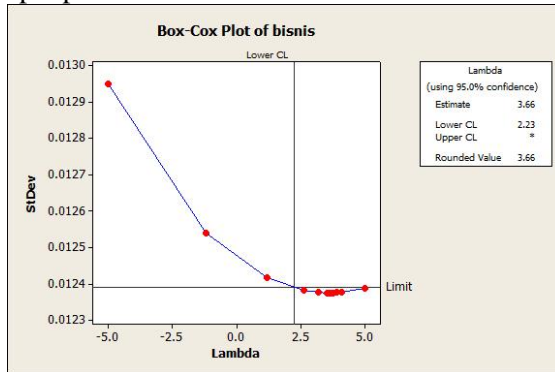
$$\begin{aligned}
r_1 &= \ln P_1 - \ln P_0 = 0.00278112 \\
r_2 &= \ln P_2 - \ln P_1 = -0.00259174 \\
r_3 &= \ln P_3 - \ln P_2 = 0.00293992 \\
&\vdots \\
r_{1418} &= \ln P_{1418} - \ln P_{1417} = 0.00412579
\end{aligned}$$

Perhitungan return saham pada 12 Mei 2011 hingga 28 Februari 2017 yang dapat dilihat pada Lampiran A.

## 4.2 Stasioneritas

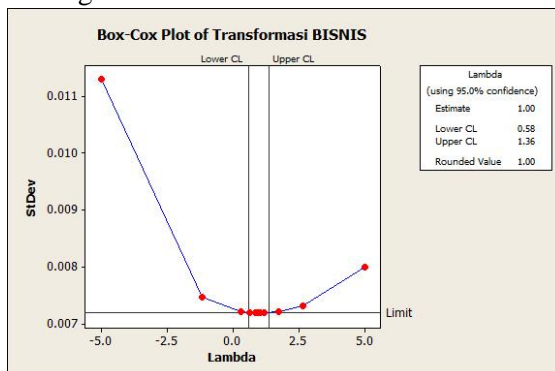
Pada tahap ini dilakukan uji stasioner pada data *return close priced* indeks konstituen periode 12 Mei 2011 hingga 28 Februari 2017 agar model yang dihasilkan sesuai. Data harus

memenuhi kondisi stasioner pada varians dan juga stasioner pada mean. Pertama, akan dilihat apakah data stasioner pada varian dengan menggunakan plot *Box-Cox* sesuai dengan persamaan yang terdapat pada **Tabel 2.1**.



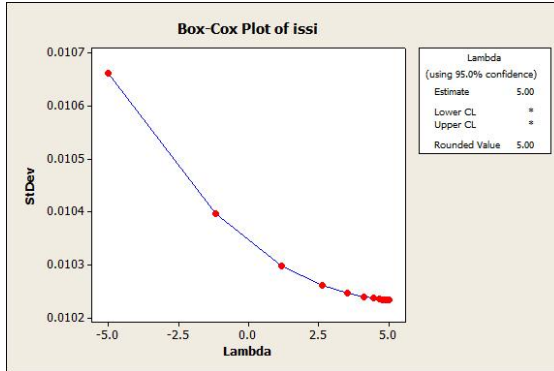
**Gambar 4. 1** Plot *Box-Cox* Indeks BISNIS27

**Gambar 4.1** menunjukkan Indeks BISNIS27 yang tidak stasioner pada varian yang ditandai oleh *rounded value* yang tidak sama dengan satu, maka data Indeks BISNIS 27 ditransformasi menggunakan nilai  $\lambda$  sama dengan 3.66 hasil transformasi Indeks BISNIS27 sebagai berikut



**Gambar 4. 2** Transformasi *Box-Cox* Indeks BISNIS27

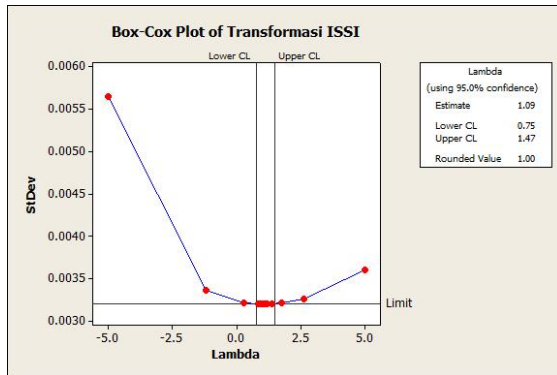
Setelah transformasi *Box-Cox*, **Gambar 4.2** menunjukkan bahwa nilai  $\lambda$  berada pada interval  $0.58 < \lambda < 1.36$ . *rounded value* atau nilai  $\lambda$  yang memiliki Jumlah Kuadrat Sesatan (JKS) adalah 1, dapat disimpulkan Indeks BISNIS27 sudah stasioner pada varian.



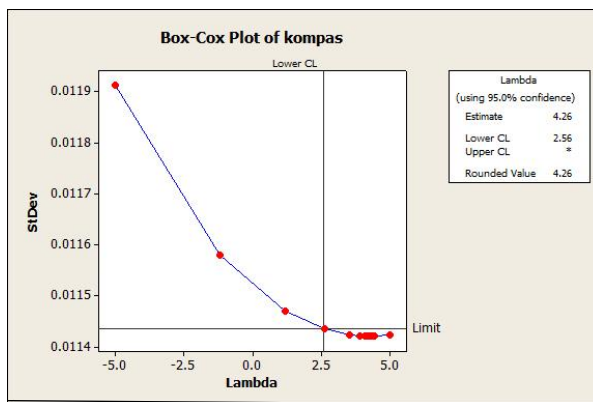
**Gambar 4.3** Plot Box-Cox ISSI

**Gambar 4.3** menunjukkan ISSI yang belum stasioner terhadap varian, maka data Indeks BISNIS 27 ditransformasi menggunakan nilai  $\lambda$  sama dengan 5.00 pada **Gambar 4.4** adalah hasil transformasi *Box-Cox* dari ISSI yang telah stasioner terhadap varian dengan nilai lambda yang berkisar  $0.75 < \lambda < 1.47$

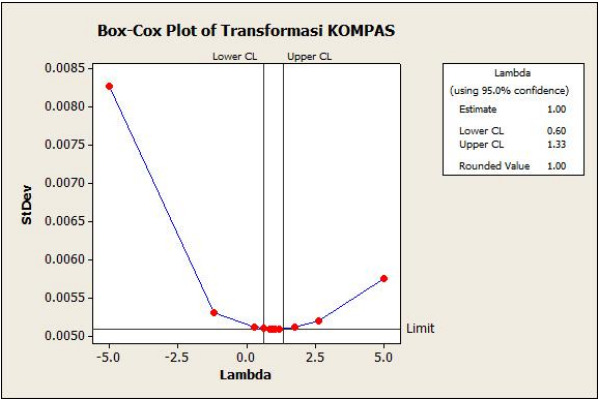




**Gambar 4. 4** Transformasi Box-Cox ISSI

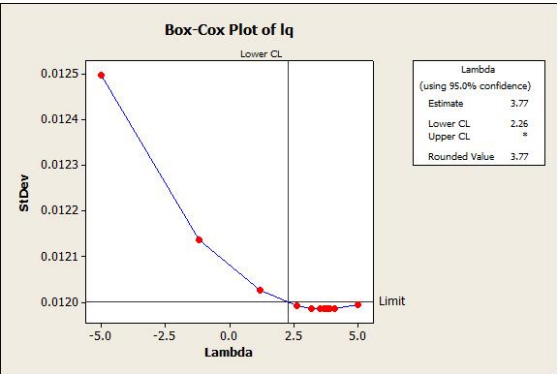


**Gambar 4. 5** Plot Box-Cox Indeks KOMPAS100



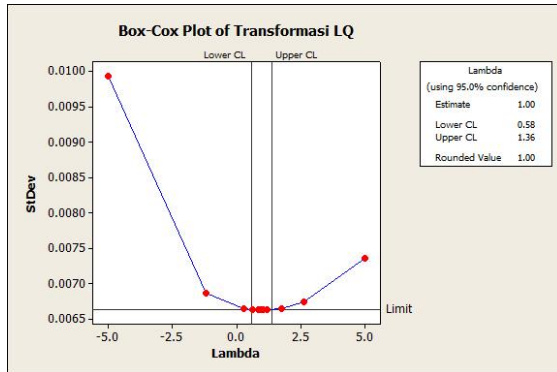
Gambar 4. 6 Transformasi *Box-Cox* Indeks KOMPAS100

Pada **Gambar 4.5** dan **Gambar 4.6** menunjukkan plot Box-Cox Indeks KOMPAS100. **Gambar 4.5** menunjukkan indeks KOMPAS100 yang tak stasioner terhadap varian yang ditandai oleh *rounded value* yang tidak sama dengan satu, maka dilakukan transformasi *Box-Cox* dengan nilai lambda sama dengan 4.26 dan hasil tranformasi dapat dilihat pada **Gambar 4.6**. yang mempunyai nilai lambda yang berkisar pada  $0.60 < \lambda < 1.33$ .

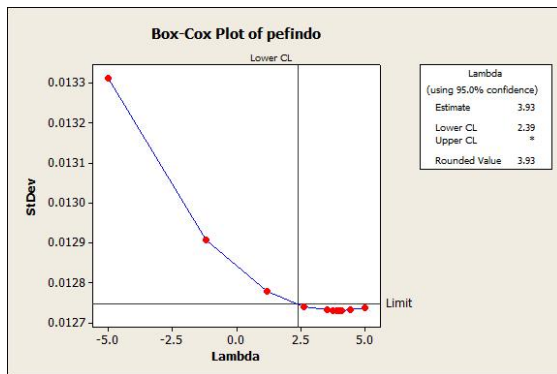


Gambar 4. 7 Plot *Box-Cox* Indeks LQ45

**Gambar 4.7** menunjukkan Indeks 45 tidak stasioner terhadap varians, maka perlu dilakukan transformasi *Box-Cox* dengan nilai lambda sama dengan 3.77, hasil transformasi tersebut dapat dilihat pada **Gambar 4.8** yang menunjukkan lambda yang berkisar pada  $0.58 < \lambda < 1.36$



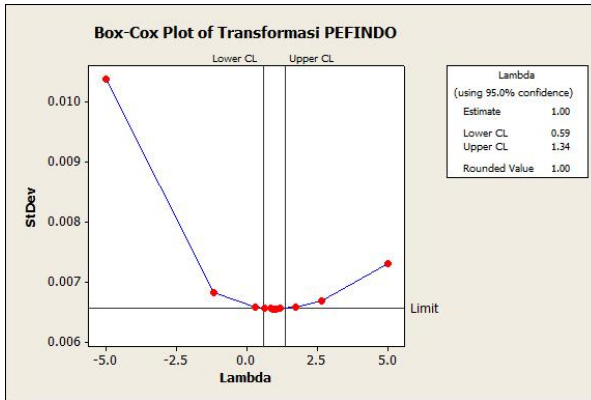
**Gambar 4.8** Transformasi *Box-Cox* Indeks LQ45



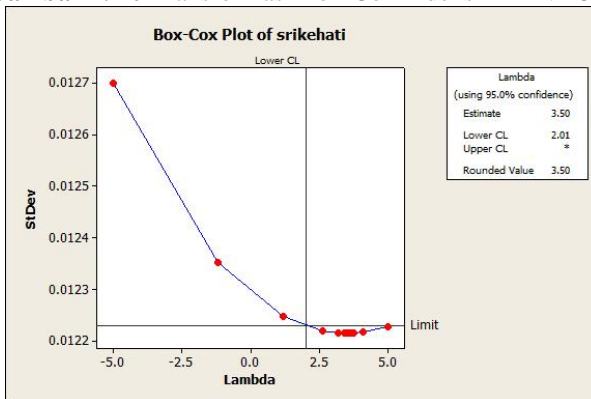
**Gambar 4.9** Plot Box-Cox Indeks PEFINDO25

**Gambar 4.9** menunjukkan Indeks PEFINDO25 yang tidak stasioner pada varian yang ditandai oleh *rounded value* yang tidak sama dengan satu, maka data Indeks PEFINDO25

ditransformasi dengan nilai  $\lambda$  sama dengan 3.93, oleh karena itu dilakukan transformasi Box-Cox agar Indeks PEFINDO25 stasioner yang hasilnya dapat dilihat pada **Gambar 4.10** yang menunjukkan nilai  $\lambda$  yang berkisar antara  $0.59 < \lambda < 1.34$



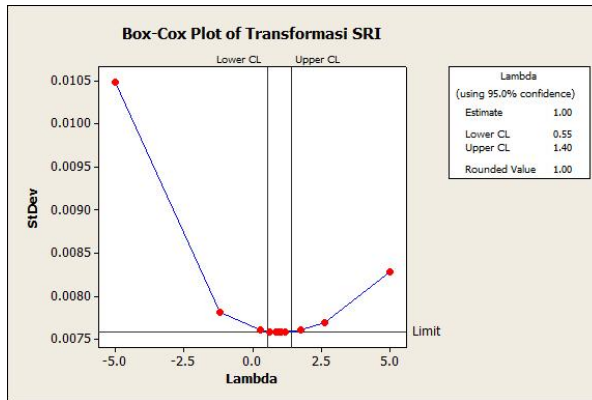
**Gambar 4. 10** Transformasi Box-Cox Indeks PEFINDO25



**Gambar 4. 11** Plot Box-Cox Indeks SRI-KEHATI

**Gambar 4.11** menunjukkan Indeks SRI-KEHATI yang tidak stasioner pada varian yang ditandai oleh *rounded value* yang tidak sama dengan satu, maka data Indeks SRI-KEHATI ditransformasi dengan nilai  $\lambda$  sama dengan 3.50, oleh karena itu

dilakukan transformasi *Box-Cox* agar Indeks SRI-KEHATI stasioner yang hasilnya dapat dilihat pada **Gambar 4.12** yang menunjukkan nilai  $\lambda$  berkisar antara  $0.55 < \lambda < 1.40$



**Gambar 4. 12** Transformasi Box-Cox Indeks SRI-KEHATI

Setelah dilakukan transformasi Box-Cox, akan dilakukan uji ADF untuk melihat kestasioneran data terhadap *mean* yang hasilnya dapat dilihat pada **Lampiran B**.

**Tabel 4.1** dibawah ini menunjukkan masing masing nilai *t-statistic* dari uji ADF pada setiap indeks konstituen

**Tabel 4. 1** Tabel Uji ADF Indeks Konstituen

	BISNIS	ISSI	KOMPAS	LQ	PEFINDO	SRI
ADF	-10.8359	-9.45599	-9.567572	-9.62973	-8.83103	-9.473362

Hipotesis:

$H_0$  : Data *return* dari harga penutup indeks konstituen mempunyai unit roots atau bersifat tidak stasioner

$H_1$  : Data *return* dari harga penutup indeks konstituen tidak mempunyai unit roots atau bersifat stasioner

Dengan menggunakan persamaan (2.6) maka, setiap nilai *t-statistic* uji ADF pada setiap indeks konstituen kurang dari *critical value* yang terdapat pada **Lampiran B** dan nilai *p-value*

juga kurang dari 0.05, jadi seluruh Indeks Konstituen bersifat stasioner terhadap *mean*.

### 4.3 Uji Ljung Box

Uji Ljung Box Q digunakan untuk melihat serial correlation pada setiap Indeks Konstituen untuk dapat ke tahap VAR dan BEKK-GARCH. Jika hasil dari Uji Ljung Box ini menolak  $H_0$  maka dapat dipastikan proses estimasi multivariate dapat dilanjutkan. Berikut ini adalah hasil dari uji Ljung Box dari tiap tipa Indeks konstituen.

Hipotesis

$H_0$ : *standardized residual series* bersifat random

$H_1$ : *standardized residual series* tidak bersifat random/  
berkorelasi

**Tabel 4. 2** Uji Ljung Box Indeks BISNIS27

Lag	AC	PAC	Q-Stat	Prob
1	0.044	0.044	2.7783	0.096
2	-0.023	-0.025	3.5161	0.172
3	-0.119	-0.117	23.569	0
4	-0.079	-0.071	32.509	0
5	-0.01	-0.009	32.646	0
6	-0.081	-0.099	41.998	0
7	0.068	0.058	48.647	0
8	0.011	-0.006	48.813	0
9	0.017	-0.003	49.236	0
10	0.038	0.041	51.294	0
11	-0.031	-0.026	52.656	0
12	0.046	0.047	55.711	0

Statistik Uji:

dengan menggunakan persamaan (2.6) maka didapatkan

$$\begin{aligned}
 Q &= n(n+2) \sum_{k=1}^5 \frac{\hat{\rho}_k^2}{n-k} \\
 &= 1418 \times (1418+2) \left( \frac{(0.044)^2}{1418-1} + \dots + \frac{(0.046)^2}{1418-12} \right) \\
 &= 1418 \times 1420 \times 0.000027660 \\
 &= 55.711 \\
 \chi^2_{(0,05;12)} &= 21.0260698
 \end{aligned}$$

untuk  $\alpha = 0.05$ , jika  $55.711 > 21.0260698$ , maka  $H_0$  ditolak artinya residual tidak bersifat *random*. Dengan cara lain menggunakan kriteria *P-value*, jika *P-value*  $< \alpha$  maka dapat disimpulkan Indeks BISNIS27 dapat diproses untuk model VAR dan BEKK-GARCH.

**Tabel 4. 3** Uji Ljung Box ISSI

Lag	AC	PAC	Q-Stat	Prob
1	0.01	0.01	0.1289	0.72
2	-0.006	-0.007	0.1888	0.91
3	-0.13	-0.13	24.184	0
4	-0.073	-0.072	31.729	0
5	0.008	0.007	31.826	0
6	-0.091	-0.111	43.637	0
7	0.083	0.067	53.571	0
8	-0.009	-0.015	53.686	0
9	0.022	-0.003	54.352	0
10	0.034	0.041	55.986	0
11	-0.027	-0.019	56.995	0
12	0.054	0.047	61.163	0

Statistik Uji:

dengan menggunakan persamaan (2.6) maka didapatkan

$$\begin{aligned}
 Q &= n(n+2) \sum_{k=1}^5 \frac{\hat{\rho}_k^2}{n-k}, \hat{\rho}_k \text{ autokorelasi residual lag } -k \\
 &= 1418 \times (1418 + 2) \left( \frac{(0.010)^2}{1418 - 1} + \dots + \frac{(0.054)^2}{1418 - 12} \right) \\
 &= 1418 \times 1420 \times 0.000030415 \\
 &= 61.163 \\
 \chi^2_{(0,05;12)} &= 21.0260698
 \end{aligned}$$

untuk  $\alpha = 0.05$ , jika  $61.163 > 21.0260698$ , maka  $H_0$  ditolak artinya residual tidak bersifat *random*. Dengan cara lain menggunakan kriteria *P - value*, jika *P - value*  $< \alpha$  maka dapat disimpulkan ISSI dapat diproses untuk model VAR dan BEKK-GARCH.

**Tabel 4. 4** Uji Ljung Box Indeks KOMPAS100

Lag	AC	PAC	Q-Stat	Prob
1	0.037	0.037	1.9042	0.168
2	-0.015	-0.017	2.2378	0.327
3	-0.121	-0.12	22.976	0
4	-0.073	-0.066	30.549	0
5	-0.012	-0.011	30.762	0
6	-0.086	-0.104	41.333	0
7	0.069	0.059	48.098	0
8	0.007	-0.008	48.167	0
9	0.017	-0.005	48.596	0
10	0.039	0.043	50.765	0
11	-0.02	-0.017	51.359	0
12	0.045	0.043	54.249	0



Statistik Uji:

dengan menggunakan persamaan (2.6) maka didapatkan

$$\begin{aligned}
 Q &= n(n+2) \sum_{k=1}^5 \frac{\hat{\rho}_k^2}{n-k}, \hat{\rho}_k \text{ autokorelasi residual lag } -k \\
 &= 1418 \times (1418 + 2) \left( \frac{(0.037)^2}{1418-1} + \dots + \frac{(0.045)^2}{1418-12} \right) \\
 &= 1418 \times 1420 \times 0.000099950 \\
 &= 54.249 \\
 \chi^2_{(0,05;12)} &= 21.0260698
 \end{aligned}$$

untuk  $\alpha = 0.05$ , jika  $54.249 > 21.0260698$ , maka  $H_0$  ditolak artinya residual tidak bersifat *random*. Dengan cara lain menggunakan kriteria *P-value*, jika *P-value*  $< \alpha$  maka dapat disimpulkan Indeks KOMPAS100 dapat diproses untuk model VAR dan BEKK-GARCH.

**Tabel 4. 5** Uji Ljung Box Indeks LQ45

Lag	AC	PAC	Q-Stat	Prob
1	0.033	0.033	1.5652	0.211
2	-0.021	-0.022	2.1835	0.336
3	-0.125	-0.124	24.589	0
4	-0.076	-0.069	32.713	0
5	-0.014	-0.015	32.974	0
6	-0.081	-0.101	42.41	0
7	0.066	0.053	48.664	0
8	0.009	-0.007	48.772	0
9	0.014	-0.009	49.056	0
10	0.038	0.042	51.107	0
11	-0.019	-0.015	51.62	0
12	0.045	0.044	54.525	0

Statistik Uji:

dengan menggunakan persamaan (2.6) maka didapatkan

$$\begin{aligned}
 Q &= n(n+2) \sum_{k=1}^5 \frac{\hat{\rho}_k^2}{n-k}, \hat{\rho}_k \text{ autokorelasi residual lag } -k \\
 &= 1418 \times (1418+2) \left( \frac{(0.033)^2}{1418-1} + \dots + \frac{(0.045)^2}{1418-12} \right) \\
 &= 1418 \times 1420 \times 0.00002699867 \\
 &= 54.525
 \end{aligned}$$

$$\chi^2_{(0,05;12)} = 21.0260698$$

untuk  $\alpha = 0.05$ , jika  $54.525 > 21.0260698$ , maka  $H_0$  ditolak artinya residual tidak bersifat *random*. Dengan cara lain menggunakan kriteria  $P - value$ , jika  $P - value < \alpha$  maka dapat disimpulkan Indeks LQ45 dapat diproses untuk model VAR dan BEKK-GARCH.

**Tabel 4. 6** Uji Ljung Box PEFINDO25

Lag	AC	PAC	Q-Stat	Prob
1	0.022	0.022	0.657	0.418
2	0.006	0.005	0.7027	0.704
3	-0.053	-0.053	4.6626	0.198
4	-0.031	-0.029	6.0253	0.197
5	-0.03	-0.028	7.2752	0.201
6	-0.067	-0.068	13.587	0.035
7	0.096	0.097	26.822	0
8	0.022	0.015	27.525	0.001
9	0.016	0.005	27.89	0.001
10	-0.022	-0.018	28.611	0.001
11	-0.029	-0.025	29.785	0.002
12	0.029	0.034	30.957	0.002

Statistik Uji:

dengan menggunakan persamaan (2.6) maka didapatkan

$$\begin{aligned}
 Q &= n(n+2) \sum_{k=1}^5 \frac{\hat{\rho}_k^2}{n-k}, \hat{\rho}_k \text{ autokorelasi residual lag } -k \\
 &= 1418 \times (1418 + 2) \left( \frac{(0.022)^2}{1418-1} + \dots + \frac{(0.029)^2}{1418-12} \right) \\
 &= 1418 \times 1420 \times 0.00001544402 \\
 &= 30.957 \\
 \chi^2_{(0,05;12)} &= 21.0260698
 \end{aligned}$$

dengan menggunakan  $\alpha = 0.05$ , jika  $30.957 > 21.0260698$ , maka  $H_0$  ditolak artinya residual tidak bersifat *random*. Dengan cara lain menggunakan kriteria  $P - value$ , jika  $P - value < \alpha$  maka dapat disimpulkan Indeks PEFINDO25 dapat diproses untuk model VAR dan BEKK-GARCH.

**Tabel 4. 7** Uji Ljung Box Indeks SRI-KEHATI

Lag	AC	PAC	Q-Stat	Prob
1	0.03	0.03	1.2747	0.259
2	-0.022	-0.023	1.9373	0.38
3	-0.122	-0.121	23.154	0
4	-0.076	-0.07	31.353	0
5	-0.009	-0.011	31.474	0
6	-0.077	-0.096	39.827	0
7	0.056	0.042	44.316	0
8	0.002	-0.012	44.322	0
9	0.024	0.004	45.15	0
10	0.047	0.047	48.254	0
11	-0.035	-0.034	50.034	0
12	0.046	0.048	53.037	0

Statistik Uji:

dengan menggunakan persamaan (2.6) maka didapatkan

$$\begin{aligned}
 Q &= n(n+2) \sum_{k=1}^5 \frac{\hat{\rho}_k^2}{n-k}, \hat{\rho}_k \text{ autokorelasi residual lag } -k \\
 &= 1418 \times (1418+2) \left( \frac{(0.030)^2}{1418-1} + \dots + \frac{(0.046)^2}{1418-12} \right) \\
 &= 1418 \times 1420 \times 0.00002641557 \\
 &= 53.037 \\
 \chi^2_{(0,05;12)} &= 21.0260698
 \end{aligned}$$

dengan menggunakan  $\alpha = 0.05$ , jika  $53.037 > 21.0260698$ , maka  $H_0$  ditolak artinya residual tidak bersifat *random*. Dengan cara lain menggunakan kriteria  $P - value$ , jika  $P - value < \alpha$  maka dapat disimpulkan Indeks SRI-KEHATI dapat diproses untuk model VAR dan BEKK-GARCH.

#### 4.4 Vector Autoregression

Pertama tama, untuk melakukan estimasi dengan VAR maka harus diketahui VAR lag length kriteria pada setiap pasangan ISSI dan Indeks Konstituen agar model yang dihasilkan sesuai. Berikut ini adalah hasil dari lag length criteria dari ISSI dan Indeks Konstituen

**Tabel 4. 8** Lag Length Criteria ISSI-BISNIS27

Lag	LR	FPE	AIC	SC	HQ
0	NA	8.16E-11	-17.55318	-17.54573*	-17.5504
1	13.69308	8.13E-11	-17.55724	-17.53489	-17.54889
2	8.296392	8.13E-11	-17.55747	-17.52023	-17.54355
3	22.81494	8.04E-11	-17.56806	-17.51592	-17.54857
4	19.05971	7.98E-11	-17.57599	-17.50895	-17.55094*
5	2.784895	8.01E-11	-17.57231	-17.49037	-17.54169
6	17.64882*	7.95e-11*	-17.57927*	-17.48243	-17.54308
7	6.790138	7.96E-11	-17.57846	-17.46673	-17.53671
8	6.844135	7.96E-11	-17.5777	-17.45107	-17.53038

Dengan *p-value* 0.05, pada **Tabel 4.8**, lag 6 memiliki nilai LR, *Final Prediction Error* (FPE), dan *Akaike Information Criterion* terbesar dibandingkan dengan lag yang lain. Oleh karena itu lag untuk VAR ISSI-BISNIS27 adalah 6.

**Tabel 4. 9** Lag Length Criteria ISSI-KOMPAS100

Lag	LR	FPE	AIC	SC	HQ
0	NA	2.21E-11	-18.85922	-18.85178*	-18.85644*
1	11.69558	2.21E-11	-18.86186	-18.83952	-18.85351
2	5.755404	2.21E-11	-18.86029	-18.82304	-18.84637
3	25.20978	2.18E-11	-18.87258	-18.82044	-18.8531
4	11.18971	2.18E-11	-18.87489	-18.80785	-18.84984
5	4.876073	2.18E-11	-18.8727	-18.79077	-18.84209
6	17.09558*	2.17e-11*	-18.87927*	-18.78243	-18.84308
7	7.515866	2.17E-11	-18.87898	-18.76725	-18.83723
8	3.214854	2.18E-11	-18.87562	-18.74899	-18.8283

**Tabel 4.9** Menunjukkan bahwa lag 6 untuk VAR ISSI-KOMPAS100 memiliki nilai LR, *Final Prediction Error* (FPE), dan *Akaike Information Criterion* terbesar dengan *p-value* 0.05 diantara lag yang lain. Maka lag untuk VAR ISSI-KOMPAS100 adalah 6.

**Tabel 4. 10** Lag Length Criteria ISSI-LQ45

Lag	LR	FPE	AIC	SC	HQ
0	NA	4.47E-11	-18.15528	-18.14783*	-18.15250*
1	9.409357	4.47E-11	-18.1563	-18.13395	-18.14795
2	7.366813	4.47E-11	-18.15587	-18.11862	-18.14195
3	23.96636	4.42E-11	-18.16728	-18.11513	-18.14779
4	12.70177	4.40E-11	-18.17067	-18.10363	-18.14562
5	5.759698	4.41E-11	-18.16911	-18.08718	-18.13849
6	20.06568*	4.37E-11	-18.1778	-18.08097	-18.14161
7	8.332449	4.37e-11*	-18.17810*	-18.06637	-18.13635
8	2.596794	4.39E-11	-18.17429	-18.04766	-18.12697

**Tabel 4.10** Menunjukkan bahwa lag 7 untuk VAR ISSI-LQ45 memiliki nilai Final Prediction Error (FPE) dan Akaike Information Criterion terbesar dengan *p-value* 0.05 diantara lag yang lain. Maka lag untuk VAR ISSI-LQ45 adalah 7.

**Tabel 4. 11** Lag Length Criteria ISSI-PEFINDO25

Lag	LR	FPE	AIC	SC	HQ
0	NA	2.44E-10	-16.45915	-16.45170*	-16.45636*
1	2.677266	2.45E-10	-16.45538	-16.43303	-16.44703
2	5.192264	2.45E-10	-16.4534	-16.41616	-16.43948
3	34.71399	2.41E-10	-16.47247	-16.42033	-16.45298
4	12.62187	2.40E-10	-16.4758	-16.40876	-16.45075
5	9.411687	2.39E-10	-16.47686	-16.39492	-16.44624
6	20.41716	2.37E-10	-16.4858	-16.38897	-16.44961
7	14.13774*	2.36e-10*	-16.49026*	-16.37853	-16.44851
8	6.887331	2.36E-10	-16.48953	-16.3629	-16.44221

**Tabel 4.11** Menunjukkan bahwa lag 7 untuk VAR ISSI-PEFINDO25 memiliki nilai LR, Final Prediction Error (FPE) dan Akaike Information Criterion terbesar dengan *p-value* 0.05 diantara lag yang lain. Maka lag untuk VAR ISSI-PEFINDO25 adalah 7.

**Tabel 4. 12** Lag Length Criteria ISSI-SRIKEHATI

Lag	LR	FPE	AIC	SC	HQ
0	NA	8.87E-11	-17.46994	-17.46249*	-17.46716*
1	6.620621	8.88E-11	-17.46897	-17.44662	-17.46062
2	12.25506	8.85E-11	-17.47202	-17.43478	-17.4581
3	23.26806	8.76E-11	-17.48293	-17.43079	-17.46345
4	18.36011	8.69E-11	-17.49036	-17.42332	-17.46531
5	5.779918	8.70E-11	-17.48882	-17.40688	-17.4582
6	19.6406	8.63E-11	-17.4972	-17.40037	-17.46102
7	10.03801*	8.62e-11*	-17.49873*	-17.387	-17.45697
8	2.986879	8.65E-11	-17.4952	-17.36857	-17.44788

**Tabel 4.12** Menunjukkan bahwa lag 7 untuk VAR ISSI-SRI-KEHATI memiliki nilai LR, Final Prediction Error (FPE) dan Akaike Information Criterion terbesar dengan  $p$ -value 0.05 diantara lag yang lain. Maka lag untuk VAR ISSI-SRIKEHATI adalah 7.

Setelah mengetahui jumlah lag yang sesuai untuk model VAR tiap pasangannya ISSI dan Indeks Konstituen, selanjutnya akan dilakukan estimasi VAR dengan Lag yang sesuai untuk model VAR ISSI dan Indeks Konstituen. Hasil dari estimasi VAR ISSI dengan Indeks konstituen dapat dilihat pada Lampiran 3.

Nilai statistik  $t$  parsial yang diberikan warna kuning menunjukkan nilai yang tidak berada diantara -1.962 sampai dengan +1.962 atau nilai statistik  $t$  yang terdapat pada tabel  $t$  statistik. nilai ini didapatkan dari nilai  $\frac{t_{0.05;1417}}{2}$  dengan hipotesis nol nya adalah variabel dependen tidak secara signifikan dipengaruhi oleh variabel independen. Akan ditolak hipotesis nol jika nilai statistik melebihi  $t$  nilai tabel atau kurang dari nilai  $t$  tabel.

Selanjutnya akan dilihat bagaimana laju dari *shock* setiap indeks konstituen dan ISSI terhadap satu sama lain dengan menggunakan *Impulse Response Function* (IRF) yang persamaannya dapat dilihat pada **Lampiran L**. Hasil IRF dapat dilihat pada **Lampiran D**. Berikut ini adalah analisis IRF indeks konstituen dan ISSI

#### 1. ISSI dengan BISNIS27

Hasil IRF ISSI dengan BISNIS27 menunjukkan bahwa respon ISSI terhadap *shock* dari BISNIS27 sangat tinggi pada tahun pertama namun memasuki tahun kedua respon menurun tajam hingga pada tahun ketiga dan mencapai titik equilibrium pada tahun ke-empat. Sedangkan untuk respon indeks BISNIS27 terhadap *shock* dari ISSI cukup rendah namun mengalami kenaikan pada tahun kedua dan ketiga namun menurun setelah melewati tahun ketiga dan mencapai titik seimbang pada tahun keempat. ISSI membutuhkan waktu 2 tahun untuk kembali stabil,

sedangkan indeks konstituen BISNIS27 membutuhkan waktu 2 tahun untuk mencapai titik setimbang ketika mendapat *shock* dari dirinya sendiri.

2. ISSI dengan KOMPAS100

KOMPAS100 memiliki respon yang sangat tinggi terhadap *shock* pada ISSI pada tahun pertama dan menurun tajam pada 2 tahun pertama dan mencapai titik kesetimbangan pada tahun ke-dua. Respon ISSI terhadap *shock* KOMPAS100 hampir mendekati nol dan mencapai titik setimbang. KOMPAS100 memiliki waktu kurang lebih 2 tahun untuk mencapai titik setimbangnya.

3. ISSI dengan LQ45

ISSI memiliki respon nol di tahun kedua pertama dan mencapai titik equilibrium pada tahun keempat. sedangkan LQ45 pada tahun pertama memiliki respon yang sangat tinggi terhadap *shock* pada ISSI dan menurun pada tahun kedua dan mencapai titik setimbang pada tahun ketiga.

4. ISSI dengan PEFINDO25

Respon ISSI terhadap *shock* pada PEFINDO25 sangat kecil namun membutuhkan waktu yang cukup lama untuk kembali pada titik setimbang yaitu 6 tahun. Sedangkan respon PEFINDO25 terhadap ISSI sangat tinggi pada tahun pertama dan kedua, namun cukup cepat untuk mencapai titik setimbang. Indeks konstituen PEFINDO25 mencapai titik setimbang pada selang waktu tahun kedua ke tahun ketiga.

5. ISSI dengan SRI-KEHATI

ISSI sangat stabil terhadap *shock* yang diberikan oleh indeks konstituen SRI-KEHATI. Untuk respon indeks konstituen SRI-KEHATI terhadap *shock* pada ISSI sangat tinggi pada tahun pertama dan mengalami penurunan yang sangat tajam pada selang waktu tahun pertama ke tahun kedua dan pada tahun ketiga respon mencapai titik setimbang.



Setelah menganalisis bagaimana respon ISSI terhadap *shock* pada indeks konstituen dan sebaliknya, dilakukan juga besarnya proporsi *shock* ISSI terhadap indeks konstituen dan sebaliknya. Hasil perhitungan *variance decompotition* yang terdapat pada **Lampiran E** adalah proporsi *shock* ISSI pada indeks konstituen lainnya sangat besar dan Hampir mendekati 100% namun tidak berlaku pada ISSI, indeks konstituen yaitu LQ45, BISNIS27, KOMPAS100, PEFINDO25, SRI-KEHATI memiliki proporsi *shock* yang sangat rendah terhadap ISSI.

#### 4.5 Uji L-jung Box (Model VAR)

Berikut ini adalah hasil dari Uji L-Jung Box terhadap indeks konstituen dengan menggunakan persamaan (2.6)

Hipotesa

$H_0$ : *standardized residual series* bersifat random

$H_1$ : *standardized residual series* tidak bersifat random/  
berkorelasi

**Tabel 4. 13** Uji Ljung Box Model VAR

	Q-Stat	<i>p-value</i>	df
ISSI-BISNIS27	27.62008	0.2764	24
ISSI-KOMPAS100	24.02098	0.4604	24
ISSI-LQ45	15.72475	0.7335	20
ISSI-PEFINDO25	37.72144	0.0096	20
ISSI-SRIKEHATI	16.69152	0.6729	20

dengan menggunakan  $\alpha = 0.05$ , pada Tabel 4.13 nilai  $Q < \chi^2_{(\alpha; k-p-q)}$  pada keseluruhan Model VAR ISSI dengan Indeks Konstituen, maka dapat disimpulkan hasil estimasi VAR telah terdefinisi dengan baik.

#### 4.6 Uji Heteroskedastisitas (Uji White)

Untuk menguji ada tidaknya unsur heteroskedastisitas, maka dilakukan uji *white* terhadap residual kuadrat pada model yang dapat dilihat pada **Lampiran G**.

Hipotesis:

$H_0$ : Tidak terdapat unsur heteroskedastisitas.

$H_1$ : Terdapat unsur heteroskedastisitas.

Statistik Uji:

Dengan menggunakan Persamaan (2.12) maka didapatkan,

1. ISSI dengan BISNIS27

Residu ISSI  $\times$  Residu ISSI :

$$X^2 = nR^2 = 1412 \times 0.298628 = 421.6626$$

Residu BISNIS  $\times$  Residu BISNIS :

$$X^2 = nR^2 = 1412 \times 0.273531 = 386.2254$$

Residu ISSI  $\times$  Residu BISNIS :

$$X^2 = nR^2 = 1412 \times 0.289086 = 408.1888$$

Kriteria Pengujian:

Dengan menggunakan  $\alpha = 0,05$ , karena nilai  $X^2 > 232.95$  dan  $p - value < \alpha = 0,05$  maka  $H_0$  ditolak yang artinya terdapat unsur heterokedastisitas pada residu model VAR ISSI dengan BISNIS27. Maka, model VAR ISSI dengan BISNIS27 dapat diproses lebih lanjut yaitu estimasi model BEKK-GARCH.

2. ISSI dengan KOMPAS100

Residu ISSI  $\times$  Residu ISSI :

$$X^2 = nR^2 = 1412 \times 0.286984 = 405.2216$$

Residu KOMPAS100  $\times$  Residu KOMPAS100 :

$$X^2 = nR^2 = 1412 \times 0.261286 = 368.9356$$

Residu ISSI  $\times$  Residu KOMPAS100 :

$$X^2 = nR^2 = 1412 \times 0.277593 = 391.9609$$

Kriteria Pengujian:

Dengan menggunakan  $\alpha = 0,05$ , karena nilai  $X^2 > 232.95$  dan  $p - value < \alpha = 0,05$  maka  $H_0$  ditolak yang artinya terdapat unsur heterokedastisitas pada residu model VAR ISSI

dengan KOMPAS100. Maka, model VAR ISSI dengan KOMPAS100 dapat diproses lebih lanjut yaitu estimasi model BEKK-GARCH.

### 3. ISSI dengan LQ45

Residu ISSI  $\times$  Residu ISSI :

$$X^2 = nR^2 = 1412 \times 0.345858 = 488.0054$$

Residu LQ45  $\times$  Residu LQ45 :

$$X^2 = nR^2 = 1412 \times 0.328732 = 463.8414$$

Residu ISSI  $\times$  Residu LQ45 :

$$X^2 = nR^2 = 1412 \times 0.337435 = 476.1202$$

Kriteria Pengujian:

Dengan menggunakan  $\alpha = 0,05$ , karena nilai  $X^2 > 314.21$  dan  $p - value < \alpha = 0,05$  maka  $H_0$  ditolak yang artinya terdapat unsur heterokedastisitas pada residu model VAR ISSI dengan LQ45. Maka, model VAR ISSI dengan LQ45 dapat diproses lebih lanjut yaitu estimasi model BEKK-GARCH.

### 4. ISSI dengan PEFINDO25

Residu ISSI  $\times$  Residu ISSI :

$$X^2 = nR^2 = 1412 \times 0.351216 = 495.5652$$

Residu PEFINDO25  $\times$  Residu PEFINDO25 :

$$X^2 = nR^2 = 1412 \times 0.329240 = 464.5570$$

Residu ISSI  $\times$  Residu PEFINDO25 :

$$X^2 = nR^2 = 1412 \times 0.358801 = 506.2684$$

Kriteria Pengujian:

Dengan menggunakan  $\alpha = 0,05$ , karena nilai  $X^2 > 314.21$  dan  $p - value < \alpha = 0,05$  maka  $H_0$  ditolak yang artinya terdapat unsur heterokedastisitas pada residu model VAR ISSI dengan PEFINDO25. Maka, model VAR ISSI dengan PEFINDO25 dapat diproses lebih lanjut yaitu estimasi model BEKK-GARCH.

### 5. ISSI dengan SRI-KEHATI

Residu ISSI  $\times$  Residu ISSI :

$$X^2 = nR^2 = 1412 \times 0.346277 = 488.5973$$

Residu PEFINDO25  $\times$  Residu PEFINDO25 :

$$X^2 = nR^2 = 1412 \times 0.341684 = 482.1158$$

Residu ISSI  $\times$  Residu SRI-KEHATI :

$$X^2 = nR^2 = 1412 \times 0.341862 = 482.3668$$

Kriteria Pengujian:

Dengan menggunakan  $\alpha = 0,05$ , karena nilai  $X^2 > 314.21$  dan  $p - value < \alpha = 0,05$  maka  $H_0$  ditolak yang artinya terdapat unsur heterokedastisitas pada residu model VAR ISSI dengan SRI-KEHATI. Maka, model VAR ISSI dengan SRI-KEHATI dapat diproses lebih lanjut yaitu estimasi model BEKK-GARCH.

### 4.7. Multivariat BEKK-GARCH

Dengan menggunakan Persamaan (2.10) hasil estimasi model BEKK-GARCH dapat dilihat pada **Lampiran H** menunjukkan ARCH effect,  $a_{11}$  dan  $a_{22}$ , yang menggambarkan bagaimana pengaruh inovasi masing masing indeks terhadap dirinya sendiri. Dari keseluruhan, LQ45 yang menunjukkan respon yang cukup stabil pada *shock* atau *innovation* di masa lalu. Sedangkan indeks konstituen yang paling besar respon terhadap shock masa lalunya adalah ISSI.

GARCH effect,  $g_{11}$  dan  $g_{22}$ , yang merepresentasikan bagaimana volatilitas masa lalu mempengaruhi volatilitas sekarang. Dari nilai GARCH pada **Lampiran H** dapat dilihat bagaimana nilai GARCH yang jauh lebih besar dibandingkan nilai ARCH yang menunjukkan bahwa volatilitas pada masa lalu lebih banyak mempengaruhi volatilitas masa depan dibandingkan dengan pengaruh *shock* pada masa lampau. [2]

#### 4.8. Uji L-jung Box (Model BEKK-GARCH)

Berikut ini adalah hasil dari Uji L-Jung Box terhadap indeks konstituen dengan menggunakan persamaan (2.6)

Hipotesa

$H_0$ : *standardized residual series* bersifat random

$H_1$ : *standardized residual series* tidak bersifat random/  
berkorelasi

**Tabel 4. 14 Uji L-jung Box Model BEKK**

	Q-Stat	<i>p-value</i>	df
ISSI-BISNIS27	26.28563	0.9955	48
ISSI-KOMPAS100	23.4795	0.9989	48
ISSI-LQ45	22.00247	0.9995	48
ISSI-PEFINDO25	37.30104	0.8678	48
ISSI-SRIKEHATI	21.80923	0.9996	48

Pada **Tabel 4.14** menunjukkan nilai  $Q < \chi^2_{(0.05;48)}$  dan  $P - value > 0.05$  maka  $H_0$  diterima artinya residual bersifat *white noise* dan persamaan BEKK (1,1) terdefinisi dengan baik.

#### 4.9 Value at Risk

Evaluasi peramalan VaR pada satu hari setelah dengan menggunakan multivariate GARCH analisis adalah sebuah standart *brechnmark* yang digunakan untuk menghitung resiko pasar. Pada Tugas akhir ini, VaR pada indeks konstituen masing masing dihitung dengan menggunakan persamaan (2.8) dengan *conditional mean*-nya yang didapat dari hasil peramalan t+1 dari VAR. *conditional mean* untuk setiap indeks konstituen dapat dilihat pada **Tabel 4.13** dan **Tabel 4.14**, *conditional* standar deviasi nya dapat dilihat pada **Tabel 4.15** dan  $d_q$  yang bernilai sebagai nilai tabel pada Tabel t dengan derajat kebebasan 1416 yaitu 1.961641.

**Tabel 4. 15 Conditional Mean indeks konstituen**

BISNIS	KOMPAS	LQ	PEFINDO	SRI
0.080054062	0.053713	0.074866875	0.067704656	0.084485041

**Tabel 4. 16 Conditional Mean ISSI**

ISSI-BISNIS27	ISSI-KOMPAS100	ISSI-LQ45	ISSI-PEFINDO25	ISSI-SRIKEHATI
0.031633665	0.03215704	0.032114931	0.032359755	0.031796872

**Tabel 4. 17 Conditional standar deviation ISSI dengan Indeks Kontituen**

	BISNIS	ISSI
BISNIS	0.442386319	
ISSI		0.237922578
	ISSI	KOMPAS
ISSI	0.229513202	
KOMPAS		0.310746276
	ISSI	LQ
ISSI	0.236420948	
LQ		0.352070652
	ISSI	PEFINDO
ISSI	0.234539448	
PEFINDO		0.425161302
	ISSI	SRI
ISSI	0.238180961	
SRI		0.338068045

Berikut adalah hasil perhitungan VaR pada masing masing indeks konstituen dengan menggunakan persamaan (2.12)

1. ISSI dengan BISNIS27

$$\begin{aligned} VaR_{ISSI(i=BISNIS27)} &= 0.031633665 + ((1.9616) \times (0.2379225)) \\ &= 0.498352 \end{aligned}$$

$$VaR_{BISNIS27} = 0.080054 + ((1.9616) \times (0.442386319))$$

$$= 0.947857$$

## 2. ISSI dengan KOMPAS100

$$\begin{aligned} VaR ISSI_{(i=KOMPAS100)} &= 0.03215704 + ((1.9616) \times (0.229513202)) \\ &= 0.482379 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} VaR KOMPAS100 &= 0.053713439 + ((1.9616) \times (0.310746276)) \\ &= 0.663286 \end{aligned}$$

## 3. ISSI dengan LQ45

$$\begin{aligned} VaR ISSI_{(i=LQ45)} &= 0.032114931 + ((1.9616) \times (0.236420948)) \\ &= 0.495888 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} VaR LQ45 &= 0.074866875 + ((1.9616) \times (0.352070652)) \\ &= 0.765503 \end{aligned}$$

## 4. ISSI dengan PEFINDO25

$$\begin{aligned} VaR ISSI_{(i=PEFINDO25)} &= 0.032359755 + ((1.9616) \\ &\quad \times (0.234539448)) \\ &= 0.492441887 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} VaR PEFINDO25 &= 0.067704656 + ((1.9616) \times (0.425161302)) \\ &= 0.901718382 \end{aligned}$$

## 5. ISSI dengan SRI-KEHATI

$$\begin{aligned} VaR ISSI_{(i=SRI-KEHATI)} &= 0.031796872 + ((1.9616) \\ &\quad \times (0.23818096)) \\ &= 0.499022 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
VaR\ SRI &= 0.084485041 + ((1.9616) \times (0.338068045)) \\
- KEHATI &= 0.747653
\end{aligned}$$

Untuk menghitung portofolio VaR pada setiap pasangan ISSI dengan indeks konstituen, *risk minimizing portfolio weight*,  $w_{12}$  dibutuhkan untuk alokasi keputusan portofolio yang optimal. Perhitungan *risk minimizing portfolio weight* menggunakan persamaan (2.15). Pertama akan dihitung *mean* dan varian-kovarian ISSI dan Indeks konstituen.

Dengan menggunakan persamaan (2.2) *mean* dari indeks konstituen adalah

1. ISSI

$$\begin{aligned}
\mu &= \frac{1}{1417} \sum_{k=1}^{1418} x_k \\
&= \frac{0.503038 + 0.498165 + 0.502409 + \dots + 0.502117}{1418} \\
&= 0.500249
\end{aligned}$$

2. BISNIS27

$$\begin{aligned}
\mu &= \frac{1}{1417} \sum_{k=1}^{1418} x_k \\
&= \frac{0.50162 + 0.4973439 + 0.50585 + \dots + 0.503895}{1418} \\
&= 0.500244
\end{aligned}$$

3. KOMPAS100

$$\begin{aligned}
\mu &= \frac{1}{1417} \sum_{k=1}^{1418} x_k \\
&= \frac{0.49845 + 0.497958 + 0.5028 + \dots + 0.503895}{1418} \\
&= 0.5001817
\end{aligned}$$

4. LQ45



$$\begin{aligned}
 \mu &= \frac{1}{1417} \sum_{k=1}^{1418} x_k \\
 &= \frac{0.49881 + 0.4976531 + 0.49516 + \dots + 0.5061885}{1418} \\
 &= 0.5001194
 \end{aligned}$$

#### 5. PEFINDO25

$$\begin{aligned}
 \mu &= \frac{1}{1417} \sum_{k=1}^{1418} x_k \\
 &= \frac{0.49706 + 0.4969895 + 0.49516 + \dots + 0.505786}{1418} \\
 &= 0.499915192
 \end{aligned}$$

#### 6. SRI-KEHATI

$$\begin{aligned}
 \mu &= \frac{1}{1417} \sum_{k=1}^{1418} x_k \\
 &= \frac{0.502781 + 0.4974 + 0.5029399 + \dots + 0.505786}{1418} \\
 &= 0.5003304
 \end{aligned}$$

Setelah didapatkan nilai *mean* maka akan dicari nilai varian-kovarian ISSI dengan indeks konstituen. Berikut ini adalah nilai varian dicari dengan menggunakan persamaan (2.4)

#### 1. ISSI

$$\begin{aligned}
 \sigma^2 &= \frac{1}{1417} \sum_{j=1}^{1418} (x_j - \mu)^2 \\
 &= \frac{(0.503038 - 0.500249)^2 + \dots + (0.50211 - 0.500249)^2}{1418} \\
 &= 0.000132
 \end{aligned}$$

#### 2. BISNIS27

$$\sigma^2 = \frac{1}{1417} \sum_{j=1}^{1418} (x_j - \mu)^2$$

$$\begin{aligned}
&= \frac{(0.50162 - 0.500244)^2 + \dots + (0.503895 - 0.500244)^2}{1418} \\
&= 0.000195
\end{aligned}$$

## 3. KOMPAS100

$$\begin{aligned}
\sigma^2 &= \frac{1}{1417} \sum_{j=1}^{1418} (x_j - \mu)^2 \\
&= \frac{(0.49845 - 0.50018)^2 + \dots + (0.503895 - 0.50018)^2}{1418} \\
&= 0.0001662
\end{aligned}$$

## 4. LQ45

$$\begin{aligned}
\sigma^2 &= \frac{1}{1417} \sum_{j=1}^{1418} (x_j - \mu)^2 \\
&= \frac{(0.49881 - 0.5001)^2 + \dots + (0.5061885 - 0.5001)^2}{1418} \\
&= 0.000183
\end{aligned}$$

## 5. PEFINDO25

$$\begin{aligned}
\sigma^2 &= \frac{1}{1417} \sum_{j=1}^{1418} (x_j - \mu)^2 \\
&= \frac{(0.49706 - 0.4999)^2 + \dots + (0.505786 - 0.4999)^2}{1418} \\
&= 0.00020002
\end{aligned}$$

## 6. SRI-KEHATI

$$\begin{aligned}
\sigma^2 &= \frac{1}{1417} \sum_{j=1}^{1418} (x_j - \mu)^2 \\
&= \frac{(0.502781 - 0.5003)^2 + \dots + (0.505786 - 0.5003)^2}{1418} \\
&= 0.0001848
\end{aligned}$$

Nilai kovarian yang didapatkan dengan menggunakan persamaan (2.4) adalah

## 1. ISSI-BISNIS27

$$\begin{aligned}
\sigma_{ik} &= \frac{1}{1417} \sum_{j=1}^{1418} (x_{ji} - \mu_i)(x_{jk} - \mu_k) \\
&= \frac{(0.503038 - 0.500249)(0.5016 - 0.50024) + \dots}{1418} \\
&\quad + \frac{(0.503895 - 0.500244)(0.502117 - 0.500249)}{1418} \\
&= 0.000153
\end{aligned}$$

## 2. ISSI-KOMPAS100

$$\begin{aligned}
\sigma_{ik} &= \frac{1}{1417} \sum_{j=1}^{1418} (x_{ji} - \mu_i)(x_{jk} - \mu_k) \\
&= \frac{(0.4985 - 0.5001817)(0.5016 - 0.50024) + \dots}{1418} \\
&\quad + \frac{(0.5068 - 0.5001817)(0.502117 - 0.500249)}{1418} \\
&= 0.0001443
\end{aligned}$$

## 3. ISSI-LQ45

$$\begin{aligned}
\sigma_{ik} &= \frac{1}{1417} \sum_{j=1}^{1418} (x_{ji} - \mu_i)(x_{jk} - \mu_k) \\
&= \frac{(0.498813 - 0.500194)(0.5016 - 0.50024) + \dots}{1418} \\
&\quad + \frac{(0.5062 - 0.500194)(0.502117 - 0.500249)}{1418} \\
&= 0.00015
\end{aligned}$$

## 4. ISSI-PEFINDO25

$$\sigma_{ik} = \frac{1}{1417} \sum_{j=1}^{1418} (x_{ji} - \mu_i)(x_{jk} - \mu_k)$$

$$\begin{aligned}
&= \frac{(0.4971 - 0.49991)(0.5016 - 0.50024) + \dots}{1418} \\
&+ \frac{(0.5057865 - 0.49991)(0.502117 - 0.500249)}{1418} \\
&= 0.00012962
\end{aligned}$$

##### 5. ISSI-SRIKEHATI

$$\begin{aligned}
\sigma_{ik} &= \frac{1}{1417} \sum_{j=1}^{1418} (x_{ji} - \mu_i)(x_{jk} - \mu_k) \\
&= \frac{(0.502781 - 0.5003304)(0.5016 - 0.50024) + \dots}{1418} \\
&+ \frac{(0.5041258 - 0.5003304)(0.502117 - 0.500249)}{1418} \\
&= 0.0001485
\end{aligned}$$

Hasil dari perhitungan *risk minimizing portfolio weight* dengan menggunakan Persamaan (2.14) adalah

##### 1. ISSI dengan BISNIS27

$$w_{12} = \frac{(1.9526 - 1.5272) \times 10^{-4}}{(1.3203 - (2 \times 1.5272) - 1.9526) \times 10^{-4}} = 1.9461$$

##### 2. ISSI dengan KOMPAS100

$$w_{12} = \frac{(1.6608 - 1.4423) \times 10^{-4}}{(1.3204 - (2 \times 1.4423) - 1.6608) \times 10^{-4}} = 2.2638$$

##### 3. ISSI dengan LQ45

$$w_{12} = \frac{(1.8160 - 1.4994) \times 10^{-4}}{(1.3203 - (2 \times 1.4994) - 1.8160) \times 10^{-4}} = 2.3006$$

##### 4. ISSI dengan PEFINDO25

$$w_{12} = \frac{(1.9988 - 1.2952) \times 10^{-4}}{(1.3204 - (2 \times 1.2952) - 1.9988) \times 10^{-4}} = 0.9655$$

##### 5. ISSI dengan SRI-KEHATI

$$w_{12} = \frac{(1.8465 - 1.4836) \times 10^{-4}}{(1.3204 - (2 \times 1.4836) - 1.8465) \times 10^{-4}} = 1.8181$$

Dengan menggunakan Persamaan (2.15) dapat didapatkan alokasi portfolio pada BISNIS27, KOMPAS100, LQ45, SRI-KEHATI adalah nol sedangkan untuk pefindo adalah 0.034453. artinya, dengan nilai  $w_{12}$  yang melebihi satu investor disarankan agar hanya menginvestasikan hartanya pada ISSI karena resiko yang cukup besar pada indeks konstituen selain PEFINDO25.

Selain itu, standar deviasi portofolio dapat direduksi menjadi nol jika portofolio mempunyai *weight* yang sama atau keduanya bernilai 0.5. hal ini dapat memaksimalkan manfaat dari *risk diversification* [2]. Hal ini menunjukkan 2 indeks yang mempunyai resiko masing masing dapat disatukan untuk menciptakan portofolio dengan nilai resiko yang lebih kecil. Dengan kata lain, indeks pertama dapat menjadi *hedge* yang baik untuk indeks kedua dan juga sebaliknya [2]

Hasil perhitungan *value at risk* ISSI dengan indeks konstituen dapat dilihat pada **Tabel 4.16**

**Tabel 4.16** Value at Risk ISSI dan Indeks Konstituen

	ISSI-BISNIS	ISSI-KOMPAS	ISS-LQ	ISSI-PEFINDO	ISSI-SRIKEHATI
VarISSI	0.498352283	0.482379484	0.49588789	0.492441887	0.499022346
Var	0.947857082	0.663285988	0.765503004	0.901718382	0.747653087
W12	1.946135261	2.263842244	2.300568356	0.965546607	1.818133239
Bt	0.412557783	0.569051954	0.499108195	0.161519097	0.545197072
p12	0.951125739	0.973997974	0.968282393	0.797312183	0.950185717
portfolio Var	1.004554508	0.962073876	0.985654591	0.995832206	0.9885129

Dengan menggunakan Persamaan (2.11) sampai dengan Persamaan (2.16) akan dihitung VaR, weight, hedge ratio, dan portfolio pada ISSI dan indeks konstituen yang hasil perhitungannya dapat dilihat pada **Tabel 4.16**. pada **Tabel 4.16** *value at risk* untuk ISSI bernilai antara 0.482379484-0.499022346. ini berarti bahwa jika seorang investor menginvestasikan uangnya sebanyak 1 juta rupiah, dengan tingkat kepercayaan 95%, kemungkinan kerugian pada hari berikutnya

akan berjumlah Rp.- sampai dengan Rp 40300,-. Untuk *value at risk* indeks konstituen lainnya, yaitu BISNIS27 sebesar 0.947857082, KOMPAS100 sebesar 0.663285988, LQ45 sebesar 0.765503, PEFINDO25 sebesar 0.901718382 dan SRI-KEHATI sebesar 0.747653 yang artinya jika investor menginvestasikan hartanya sebesar 1 juta rupiah maka kemungkinan kerugian yang akan terjadi di hari berikutnya adalah Rp 89478.- untuk BISNIS27, Rp 66328.- untuk KOMPAS100, Rp 76550 untuk LQ45, Rp 90171.- untuk PEFINDO25 dan Rp 74765.- untuk SRI-KEHATI.

*Risk minimizing ratio*,  $\beta_t$ , pada **Tabel 4.5** memiliki nilai 0.16159097-0.56906. nilai yang terendah dimiliki oleh PEFINDO25 dan yang tertinggi adalah KOMPAS100. Hedge ratio ini menunjukkan untuk setiap jumlah C rupiah pada ISSI yang dibeli, maka investor harus menjual  $0.41255 \times C$  rupiah BISNIS27,  $0.56906 \times C$  rupiah KOMPAS100,  $0.499108 \times C$  rupiah LQ45,  $0.1615 \times C$  PEFINDO25, dan  $0.545197 \times C$  rupiah SRI-KEHATI.



## **BAB V**

### **PENUTUP**

#### **5.1 Kesimpulan**

1. Pada *impulse response* model VAR menunjukkan ISSI memiliki volatilitas yang paling kecil apabila mendapatkan shock dari Indeks konstituen lain. Namun, koefisien ARCH dan koefisien GARCH pada model BEKK-GARCH yang menggambarkan besarnya shock dan volatilitas terhadap dirinya sendiri, ISSI memiliki nilai yang paling besar untuk koefisien ARCH di pasangan ISSI-SRIKEHATI artinya, jika terdapat shock dari luar, ISSI merespon cukup baik atau memiliki volatilitas yang kecil ditandai oleh nilai *impulse response* yang kecil, namun jika terdapat shock dari dirinya sendiri ISSI maka volatilitas ISSI menjadi tinggi.
2. Indeks konstituen yang memiliki nilai VaR terkecil adalah ISSI artinya ISSI merupakan indeks konstituen yang memiliki prospek yang cukup baik untuk investor menginvestasikan dananya dibandingkan dengan indeks konstituen non syariah.

#### **5.2 Saran**

- 1 Untuk penelitian selanjutnya dapat digunakan model *assymetri* BEKK-GARCH untuk melihat bagaimana *innovation* negatif dan positif mempengaruhi ISSI dan Indeks konstituen.
- 2 Karena perhitungan *Value at Risk* menggunakan metode Markowitz ini hanya dapat dipakai dalam jangka pendek, diharapkan untuk penelitian lebih lanjut dapat memakai metode yang dapat melihat *Value at Risk* yang dapat dipakai dalam jangka waktu yang panjang.





## DAFTAR PUSTAKA

- [1] PT Bursa Efek Indonesia (2016). **“IDX FACT BOOK”**. Jakarta.
- [2] Chin, W.C (2016). **“Multivariate Market Risk Evaluation between Malaysian Islamic Stock Index and Sectoral Indices”**. *Borsa Istanbul Review*, vol 17-I. hal 49-61. Selangor. Malaysia.
- [3] Kushbrahmiani, B. D (2008). **“Analisis Transmisi dan Volatilitas Pasar Saham dan Pasar Obligasi.”**
- [4] Walpole, R (1995). **“Pengantar Statistika”** PT Gramedia Pustaka Utama. Jakarta
- [5] Ispriyanti, D.(2004). **“Pemodelan Statistika dengan Transformasi Box Cox,”** *Jurnal Matematika dan Komputer*, vol. 7, hal. 8-17.
- [6] W. G. Hunter. (2005) **“Statistics for Experimenters”**. John Wiley & Sons, Inc. New Jersey.
- [7] Dianingsari, K (2007). **“Analisis Hubungan Dinamis Suku Bunga SBI, ISHG, dan Suku Bunga Internasional dengan model Vector Autoregressive”**. *Institut Pertanian Bogor*. Bogor.
- [8] Fatari, V (2017). **“ Model ARCH/GARCH untuk mengetahui Perubahan Indeks Harga Saham Gabungan (ISHG) dengan adanya ASEAN ECONOMIC COMMUNITY (AEC)”**. Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Surabaya.



## LAMPIRAN A

### Harga Penutupan Saham pada Indeks Konstituen

No	BISNIS	ISSI	KOMPAS	LQ	PEFINDO	SRI
1	467	174.74	1133.38	892.7	367.08	316.86
2	466.24	174.21	1135.13	893.76	368.16	315.98
3	467.48	174.53	1137.45	895.86	369.27	316.8
4	464.75	174.11	1134.26	893.11	371.06	315.87
5	464.26	173.93	1132.24	891.78	370.23	316.46
6	461.69	174.02	1126.71	886.34	369.32	315.5
7	462.11	174.12	1129.26	888.2	367.63	314.78
8	460.84	174.18	1127.62	887.4	368.72	314.18
9	465.11	175.27	1135.49	894.4	372.83	316.84
10	464.77	174.83	1134.58	893.72	375.11	316.48
11	469.28	175.82	1142.36	900.72	375.84	318.4
12	464.23	174.91	1132.79	893.89	374.69	315.38
13	466.66	174.2	1132.01	894.45	374.58	315.75
14	465.48	174.21	1130.78	893.89	376.36	314.3
15	467.06	174.63	1134.06	896.64	374.86	316.01
16	468.43	175.42	1137.57	899.48	378.05	316.65
17	464.73	174.72	1129.36	893.3	373.39	314.45
18	464.27	174.42	1125.9	891.04	371.68	313.74
19	462.36	173.32	1119.23	886.24	371.96	312.17
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
1413	328.17	122	869.24	673.4	413.54	196.86
1414	337.33	124.84	892.75	691.84	421.27	202.24
1415	335.67	123.81	889.67	689.38	417.67	201.18
1416	333.11	123.46	884.66	684.52	422.21	199.64
1417	328.82	122.03	874.22	676.1	415.76	197.32
1418	331.82	122.95	882.02	682.4	415.96	199.16
1419	330.53	122.69	876.01	678.19	413.56	198.34

**LAMPIRAN A (Lanjutan)**  
**Return Saham Indeks Konstituen**

No	BISNIS	ISSI	KOMPAS	LQ	PEFINDO	SRI
1	0.001629	0.003037687	-0.00154	-0.00119	-0.00294	0.002781
2	-0.00266	-0.001835179	-0.00204	-0.00235	-0.00301	-0.00259
3	0.005857	0.002409363	0.002808	0.003074	-0.00484	0.00294
4	0.001055	0.001034364	0.001782	0.00149	0.002239	-0.00187
5	0.005551	-0.000517316	0.004896	0.006119	0.002461	0.003038
6	-0.00091	-0.000574482	-0.00226	-0.0021	0.004586	0.002285
7	0.002752	-0.000344531	0.001453	0.000901	-0.00296	0.001908
8	-0.00922	-0.006238395	-0.00696	-0.00786	-0.01109	-0.00843
9	0.000731	0.002513569	0.000802	0.000761	-0.0061	0.001137
10	-0.00966	-0.005646671	-0.00683	-0.0078	-0.00194	-0.00605
11	0.010819	0.005189189	0.008413	0.007612	0.003065	0.00953
12	-0.00522	0.004067492	0.000689	-0.00063	0.000294	-0.00117
13	0.002532	-0.000057404	0.001087	0.000626	-0.00474	0.004603
14	-0.00339	-0.002407982	-0.0029	-0.00307	0.003994	-0.00543
15	-0.00293	-0.004513649	-0.00309	-0.00316	-0.00847	-0.00202
16	0.00793	0.003998406	0.007243	0.006894	0.012403	0.006972
17	0.00099	0.001718509	0.003068	0.002533	0.00459	0.00226
18	0.004122	0.006326587	0.005942	0.005402	-0.00075	0.005017
19	0.013303	0.004858309	0.008731	0.010082	0.000457	0.011275
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
1413	-0.02753	-0.023011873	-0.02669	-0.02702	-0.01852	-0.02696
1414	0.004933	0.008284785	0.003456	0.003562	0.008582	0.005255
1415	0.007656	0.002830915	0.005647	0.007075	-0.01081	0.007684
1416	0.012962	0.011650301	0.011871	0.012377	0.015395	0.011689
1417	-0.00908	-0.007510853	-0.00888	-0.00928	-0.00048	-0.00928
1418	0.003895	0.00211692	0.006837	0.006189	0.005786	0.004126

**Lampiran A (Lanjutan)**  
**Transformasi Return Saham Indeks Konstituen**

No	BISNIS	ISSI	KOMPAS	LQ	PEFINDO	SRI
1	0.501629	0.503037687	0.498457	0.498813	0.497062	0.502781
2	0.497344	0.498164821	0.497958	0.497653	0.49699	0.497408
3	0.505857	0.502409363	0.502808	0.503074	0.495164	0.50294
4	0.501055	0.501034364	0.501782	0.50149	0.502239	0.498134
5	0.505551	0.499482684	0.504896	0.506119	0.502461	0.503038
6	0.499091	0.499425518	0.497739	0.497904	0.504586	0.502285
7	0.502752	0.499655469	0.501453	0.500901	0.497039	0.501908
8	0.490777	0.493761605	0.493045	0.492143	0.488915	0.491569
9	0.500731	0.502513569	0.500802	0.500761	0.493903	0.501137
10	0.490343	0.494353329	0.493166	0.492198	0.498056	0.493952
11	0.510819	0.505189189	0.508413	0.507612	0.503065	0.50953
12	0.494779	0.504067492	0.500689	0.499374	0.500294	0.498827
13	0.502532	0.499942596	0.501087	0.500626	0.495259	0.504603
14	0.496611	0.497592018	0.497104	0.496928	0.503994	0.494574
15	0.497071	0.495486351	0.49691	0.496838	0.491526	0.497977
16	0.50793	0.503998406	0.507243	0.506894	0.512403	0.506972
17	0.50099	0.501718509	0.503068	0.502533	0.50459	0.50226
18	0.504122	0.506326587	0.505942	0.505402	0.499247	0.505017
19	0.513303	0.504858309	0.508731	0.510082	0.500457	0.511275
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
1413	0.47247	0.476988127	0.473313	0.472985	0.48148	0.473038
1414	0.504933	0.508284785	0.503456	0.503562	0.508582	0.505255
1415	0.507656	0.502830915	0.505647	0.507075	0.489189	0.507684
1416	0.512962	0.511650301	0.511871	0.512377	0.515395	0.511689
1417	0.490918	0.492489147	0.491117	0.490725	0.499519	0.490718
1418	0.503895	0.50211692	0.506837	0.506189	0.505786	0.504126

**Lampiran A (Lanjutan)**  
**Transformasi *Box-Cox* Indeks Konstituen**

No	BISNIS	ISSI	KOMPAS	LQ	PEFINDO	SRI
1	0.080321	0.032210882	0.051636192	0.072665	0.064092224	0.090393
2	0.077842	0.030680701	0.051416579	0.07203	0.06405542	0.087061
3	0.082824	0.032010217	0.053582311	0.075033	0.063135787	0.090493
4	0.079986	0.031574579	0.053118475	0.074146	0.066756212	0.087506
5	0.082641	0.031088673	0.054535678	0.076759	0.06687206	0.090555
6	0.078846	0.031070887	0.051320424	0.072167	0.067990785	0.090081
7	0.080981	0.031142482	0.052970321	0.073818	0.064080704	0.089845
8	0.07415	0.029348545	0.049291591	0.069069	0.060061504	0.083541
9	0.079797	0.032043428	0.052677964	0.07374	0.062506179	0.089364
10	0.073911	0.029524824	0.049343229	0.069099	0.064597244	0.084965
11	0.085833	0.032905632	0.056170897	0.077616	0.067188318	0.094706
12	0.076385	0.032541941	0.052627418	0.072973	0.065745516	0.087933
13	0.080851	0.031232065	0.052805871	0.073666	0.063183387	0.091543
14	0.077424	0.030504719	0.051041974	0.071635	0.067677295	0.085339
15	0.077686	0.029864722	0.05095731	0.071586	0.061332133	0.087409
16	0.084071	0.032519646	0.055623031	0.077203	0.072225232	0.093054
17	0.079948	0.031790738	0.053700312	0.074729	0.067992746	0.090066
18	0.081791	0.033277728	0.055018062	0.07635	0.06520657	0.091806
19	0.087368	0.032798014	0.056320973	0.079049	0.065830015	0.095845
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
1413	0.064531	0.024690953	0.041425671	0.059468	0.056551054	0.07304
1414	0.082272	0.033926226	0.053876641	0.075308	0.070131614	0.091957
1415	0.083906	0.032144736	0.054881853	0.077307	0.060193824	0.093512
1416	0.087156	0.03506438	0.057815503	0.080399	0.073896801	0.096116
1417	0.074228	0.028972323	0.048476525	0.068322	0.065346371	0.083036
1418	0.081656	0.031917163	0.055433736	0.076799	0.068628519	0.091241

## LAMPIRAN B

Model regresi yang digunakan adalah [5]

$$r_t' = \theta_0 + \theta_1 r_{t-1} + \varepsilon$$

Fungsi maksimum likelihood nya adalah

$$\begin{aligned}
 L(r_t, r_{t-1}, \theta_0, \theta_1, \sigma^2) &= \prod_{t=1}^n (2\pi\sigma^2)^{-\frac{1}{2}} \exp \left[ -\frac{1}{2\sigma^2} \sum_1^n (r_t' - \theta_0 - \theta_1 r_{t-1})^2 \right] \\
 &= (2\pi\sigma^2)^{-\frac{n}{2}} \exp \left[ -\frac{1}{2\sigma^2} \sum_1^n (r_t' - \theta_0 - \theta_1 r_{t-1})^2 \right] \\
 \ln[L(r_t, r_{t-1}, \theta_0, \theta_1, \sigma^2)] &= \ln \left( (2\pi\sigma^2)^{-\frac{n}{2}} \exp \left[ -\frac{1}{2\sigma^2} \sum_1^n (r_t' - \theta_0 - \theta_1 r_{t-1})^2 \right] \right) \\
 &= \ln \left( (2\pi)^{-\frac{n}{2}} \right) + \ln \left( (\sigma^2)^{-\frac{n}{2}} \right) \\
 &\quad + \ln \left( \exp \left[ -\frac{1}{2\sigma^2} \sum_1^n (r_t' - \theta_0 - \theta_1 r_{t-1})^2 \right] \right) \\
 &= -\frac{n}{2} \ln(2\pi) - \frac{n}{2} \ln(\sigma^2) \\
 &\quad - \frac{1}{2\sigma^2} \sum_1^n (r_t' - \theta_0 - \theta_1 r_{t-1})^2 \\
 &= -\frac{n}{2} \ln(2\pi) - \frac{n}{2} \ln(\sigma^2) \\
 &\quad - \frac{1}{2\sigma^2} (r_t' - \theta_0 - \theta_1 r_{t-1})' (r_t' - \theta_0 - \theta_1 r_{t-1}) \\
 L \text{ maks } (\lambda) &= -\frac{n}{2} \ln \sigma^2(\lambda) + \ln J(\lambda, r_t)
 \end{aligned}$$



$$= -\frac{n}{2} \ln \sigma^2(\lambda) + (\lambda - 1) \sum \ln r_t$$

## LAMPIRAN B (Lanjutan)

### Uji ADF ISSI

Null Hypothesis: ISSI has a unit root

Exogenous: Constant, Linear Trend

Lag Length: 21 (Automatic - based on t-statistic, lagpval=0.05, maxlag=23)

	t-Statistic	Prob.*
Augmented Dickey-Fuller test statistic	-9.455986	0.0000
Test critical values: 1% level	-3.964632	
5% level	-3.413033	
10% level	-3.128519	

\*Mackinnon (1996) one-sided p-values.

### Uji ADF BISNIS27

Null Hypothesis: BISNIS has a unit root

Exogenous: Constant, Linear Trend

Lag Length: 16 (Automatic - based on t-statistic, lagpval=0.05, maxlag=23)

	t-Statistic	Prob.*
Augmented Dickey-Fuller test statistic	-10.83585	0.0000
Test critical values: 1% level	-3.964608	
5% level	-3.413021	
10% level	-3.128512	

\*Mackinnon (1996) one-sided p-values.

### LAMPIRAN B (Lanjutan)

#### Uji ADF KOMPAS100

Null Hypothesis: KOMPAS has a unit root

Exogenous: Constant, Linear Trend

Lag Length: 21 (Automatic - based on t-statistic, lagpval=0.05, maxlag=23)

	t-Statistic	Prob.*
Augmented Dickey-Fuller test statistic	-9.567572	0.0000
Test critical values: 1% level	-3.964632	
5% level	-3.413033	
10% level	-3.128519	

\*MacKinnon (1996) one-sided p-values.

#### Uji ADF LQ45

Null Hypothesis: LQ has a unit root

Exogenous: Constant, Linear Trend

Lag Length: 21 (Automatic - based on t-statistic, lagpval=0.05, maxlag=23)

	t-Statistic	Prob.*
Augmented Dickey-Fuller test statistic	-9.629728	0.0000
Test critical values: 1% level	-3.964632	
5% level	-3.413033	
10% level	-3.128519	

\*MacKinnon (1996) one-sided p-values.

### LAMPIRAN B (Lanjutan)

#### Uji ADF PEFINDO25

Null Hypothesis: PEFINDO has a unit root

Exogenous: Constant, Linear Trend

Lag Length: 21 (Automatic - based on t-statistic, lagpval=0.05, maxlag=23)

	t-Statistic	Prob.*
Augmented Dickey-Fuller test statistic	-8.831030	0.0000
Test critical values: 1% level	-3.964632	
5% level	-3.413033	
10% level	-3.128519	

\*MacKinnon (1996) one-sided p-values.

#### Uji ADF SRI-KEHATI

Null Hypothesis: SRI has a unit root

Exogenous: Constant, Linear Trend

Lag Length: 21 (Automatic - based on t-statistic, lagpval=0.05, maxlag=23)

	t-Statistic	Prob.*
Augmented Dickey-Fuller test statistic	-9.473362	0.0000
Test critical values: 1% level	-3.964632	
5% level	-3.413033	
10% level	-3.128519	

\*MacKinnon (1996) one-sided p-values.



**LAMPIRAN C**  
**Estimasi VAR ISSI dengan BISNIS27**

	BISNIS	ISSI
BISNIS(-1)	0.066802 (0.08312) [ 0.80364]	0.023600 (0.03649) [ 0.64673]
BISNIS(-2)	-0.152254 (0.08308) [-1.83259]	-0.038445 (0.03647) [-1.05407]
BISNIS(-3)	0.024015 (0.08311) [ 0.28897]	0.014365 (0.03648) [ 0.39373]
BISNIS(-4)	-0.225992 (0.08312) [-2.71889]	-0.077075 (0.03649) [-2.11224]
BISNIS(-5)	-0.105203 (0.08322) [-1.26415]	-0.045786 (0.03653) [-1.25324]
BISNIS(-6)	-0.039628 (0.08295) [-0.47772]	-0.002910 (0.03642) [-0.07990]
ISSI(-1)	-0.071535 (0.18919) [-0.37812]	-0.050659 (0.08305) [-0.60995]
ISSI(-2)	0.293426 (0.18910) [ 1.55172]	0.067042 (0.08301) [ 0.80760]

**LAMPIRAN C (Lanjutan)**  
**Estimasi VAR ISSI dengan BISNIS27**

	BISNIS	ISSI
ISSI(-3)	-0.353639 (0.18907) [-1.87039]	-0.171501 (0.08300) [-2.06620]
ISSI(-4)	0.360741 (0.18917) [ 1.90701]	0.093806 (0.08304) [ 1.12958]
ISSI(-5)	0.252389 (0.18952) [ 1.33174]	0.110596 (0.08320) [ 1.32930]
ISSI(-6)	-0.137301 (0.18902) [-0.72639]	-0.100499 (0.08298) [-1.21113]
C	0.103474 (0.00555) [ 18.6531]	0.043180 (0.00244) [ 17.7310]

**LAMPIRAN C (Lanjutan)**  
**Estimasi VAR ISSI dengan KOMPAS100**

	ISSI	KOMPAS
ISSI(-1)	-0.137475 (0.11290) [-1.21768]	-0.192271 (0.18181) [-1.05756]
ISSI(-2)	0.009719 (0.11279) [ 0.08616]	0.108847 (0.18164) [ 0.59925]
ISSI(-3)	-0.149718 (0.11282) [-1.32700]	-0.181494 (0.18169) [-0.99894]
ISSI(-4)	0.008110 (0.11273) [ 0.07194]	0.085166 (0.18154) [ 0.46913]
ISSI(-5)	0.158856 (0.11280) [ 1.40828]	0.279086 (0.18165) [ 1.53640]
ISSI(-6)	-0.114640 (0.11251) [-1.01897]	-0.136335 (0.18117) [-0.75251]
KOMPAS(-1)	0.088128 (0.07015) [ 1.25632]	0.143460 (0.11296) [ 1.27000]
KOMPAS(-2)	-0.016296 (0.07007) [-0.23258]	-0.089135 (0.11283) [-0.79000]



**LAMPIRAN C (Lanjutan)**  
**Estimasi VAR ISSI dengan KOMPAS100**

	ISSI	KOMPAS
KOMPAS(-3)	0.005088 (0.07013) [ 0.07255]	-0.018562 (0.11293) [-0.16437]
KOMPAS(-4)	-0.051192 (0.07012) [-0.73005]	-0.119932 (0.11292) [-1.06211]
KOMPAS(-5)	-0.096219 (0.07013) [-1.37204]	-0.176458 (0.11293) [-1.56253]
KOMPAS(-6)	0.004566 (0.06994) [ 0.06529]	-0.018668 (0.11263) [-0.16574]
C	0.042051 (0.00227) [ 18.5285]	0.068507 (0.00365) [ 18.7446]

**LAMPIRAN C (Lanjutan)**  
**Estimasi VAR ISSI dengan LQ45**

	ISSI	LQ
ISSI(-1)	-0.032415 (0.10301) [-0.31469]	-0.037519 (0.21592) [-0.17376]
ISSI(-2)	0.129598 (0.10277) [ 1.26108]	0.375759 (0.21542) [ 1.74431]
ISSI(-3)	-0.075619 (0.10281) [-0.73550]	-0.091938 (0.21552) [-0.42660]
ISSI(-4)	0.109582 (0.10279) [ 1.06611]	0.301124 (0.21546) [ 1.39759]
ISSI(-5)	0.194361 (0.10285) [ 1.88977]	0.424419 (0.21559) [ 1.96863]
ISSI(-6)	-0.045144 (0.10290) [-0.43871]	0.009245 (0.21570) [ 0.04286]
ISSI(-7)	0.159709 (0.10278) [ 1.55389]	0.288259 (0.21545) [ 1.33796]
LQ(-1)	0.018339 (0.04917) [ 0.37294]	0.043056 (0.10308) [ 0.41770]

**LAMPIRAN C (Lanjutan)**  
**Estimasi VAR ISSI dengan LQ45**

	ISSI	LQ
LQ(-2)	-0.073077 (0.04910) [-1.48819]	-0.204279 (0.10293) [-1.98459]
LQ(-3)	-0.030625 (0.04913) [-0.62331]	-0.087928 (0.10299) [-0.85375]
LQ(-4)	-0.084949 (0.04913) [-1.72921]	-0.203454 (0.10298) [-1.97571]
LQ(-5)	-0.090928 (0.04922) [-1.84735]	-0.205465 (0.10318) [-1.99140]
LQ(-6)	-0.030149 (0.04921) [-0.61263]	-0.101836 (0.10316) [-0.98718]
LQ(-7)	-0.045289 (0.04912) [-0.92192]	-0.080756 (0.10297) [-0.78423]
C	0.042447 (0.00284) [ 14.9627]	0.095687 (0.00595) [ 16.0913]

**LAMPIRAN C (Lanjutan)**  
**Estimasi VAR ISSI dengan PEFINDO25**

	ISSI	PEFINDO
ISSI(-1)	-0.057922 (0.04282) [-1.35256]	-0.052570 (0.08756) [-0.60038]
ISSI(-2)	-0.103545 (0.04284) [-2.41708]	-0.173778 (0.08759) [-1.98395]
ISSI(-3)	-0.231604 (0.04279) [-5.41260]	-0.237656 (0.08749) [-2.71634]
ISSI(-4)	-0.142701 (0.04327) [-3.29818]	-0.227269 (0.08847) [-2.56899]
ISSI(-5)	-0.047893 (0.04296) [-1.11481]	-0.081734 (0.08784) [-0.93047]
ISSI(-6)	-0.150497 (0.04293) [-3.50543]	-0.305082 (0.08778) [-3.47540]
ISSI(-7)	0.005057 (0.04309) [ 0.11738]	0.009556 (0.08810) [ 0.10847]

**LAMPIRAN C (Lanjutan)**  
**Estimasi VAR ISSI dengan PEFINDO25**

	ISSI	PEFINDO
PEFINDO(-1)	0.033327 (0.02092) [ 1.59312]	0.035697 (0.04277) [ 0.83456]
PEFINDO(-2)	0.049599 (0.02093) [ 2.36985]	0.062914 (0.04279) [ 1.47017]
PEFINDO(-3)	0.053579 (0.02092) [ 2.56170]	0.035150 (0.04277) [ 0.82192]
PEFINDO(-4)	0.045157 (0.02100) [ 2.15011]	0.064884 (0.04294) [ 1.51094]
PEFINDO(-5)	0.030966 (0.02097) [ 1.47637]	0.005587 (0.04289) [ 0.13028]
PEFINDO(-6)	0.022898 (0.02100) [ 1.09032]	0.048029 (0.04294) [ 1.11850]
PEFINDO(-7)	0.040256 (0.02102) [ 1.91487]	0.095598 (0.04298) [ 2.22401]
C	0.036291 (0.00256) [ 14.2027]	0.076594 (0.00522) [ 14.6602]

**LAMPIRAN C (Lanjutan)**  
**Estimasi VAR ISSI dengan SRI-KEHATI**

	ISSI	SRI
ISSI(-1)	0.004863 (0.08294) [ 0.05863]	0.064484 (0.19694) [ 0.32743]
ISSI(-2)	0.101831 (0.08272) [ 1.23106]	0.433235 (0.19642) [ 2.20561]
ISSI(-3)	-0.093889 (0.08304) [-1.13070]	-0.232174 (0.19718) [-1.17748]
ISSI(-4)	0.097879 (0.08287) [ 1.18111]	0.381813 (0.19679) [ 1.94025]
ISSI(-5)	0.143890 (0.08307) [ 1.73225]	0.424057 (0.19725) [ 2.14986]
ISSI(-6)	-0.031434 (0.08303) [-0.37858]	0.009058 (0.19717) [ 0.04594]
ISSI(-7)	0.138560 (0.08298) [ 1.66981]	0.280365 (0.19705) [ 1.42284]

**LAMPIRAN C (Lanjutan)**  
**Estimasi VAR ISSI dengan SRI-KEHATI**

	ISSI	SRI
SRI(-1)	-0.000407 (0.03496) [-0.01163]	-0.002568 (0.08303) [-0.03094]
SRI(-2)	-0.053304 (0.03492) [-1.52650]	-0.203361 (0.08292) [-2.45250]
SRI(-3)	-0.019764 (0.03503) [-0.56417]	-0.036234 (0.08319) [-0.43557]
SRI(-4)	-0.071305 (0.03495) [-2.04015]	-0.219679 (0.08300) [-2.64688]
SRI(-5)	-0.059523 (0.03507) [-1.69710]	-0.174920 (0.08329) [-2.10022]
SRI(-6)	-0.033325 (0.03500) [-0.95213]	-0.096318 (0.08311) [-1.15887]
SRI(-7)	-0.030504 (0.03496) [-0.87243]	-0.068976 (0.08303) [-0.83076]
C	0.044004 (0.00309) [ 14.2538]	0.117791 (0.00733) [ 16.0679]

**LAMPIRAN D**  
**Impuls Response dari ISSI dan BISNIS27**  
 Respon Indeks BISNIS27

Periode	ISSI	BISNIS
1	0	0.007909
2	-7.98E-05	0.000293
3	0.000326	-0.000221
4	-0.000383	-0.001021
5	0.000381	-0.000626
6	0.000281	-3.96E-05
7	-0.000165	-0.000625
8	-2.42E-05	0.000129
9	-0.000124	5.74E-05
10	4.23E-05	0.000195

Respon ISSI

Periode	ISSI	BISNIS
1	0.001116	0.003288
2	-5.65E-05	2.01E-05
3	7.58E-05	-7.77E-05
4	-0.00019	-0.000461
5	0.000106	-0.000298
6	0.000122	-4.36E-07
7	-0.00011	-0.000287
8	-2.37E-06	7.74E-05
9	-4.98E-05	2.78E-05
10	2.15E-05	8.85E-05



**LAMPIRAN D (Lanjutan)**  
**Impuls Response dari ISSI dan KOMPAS100**

Respon Indeks KOMPAS100

Periode	ISSI	KOMPAS
1	0.005439	0.001325
2	0.005551	0.001516
3	0.00546	0.001402
4	0.004714	0.001361
5	0.004347	0.00118
6	0.004361	0.000933
7	0.003878	0.000918
8	0.003971	0.000939
9	0.003997	0.000999
10	0.004142	0.001025

Respon ISSI

Periode	ISSI	KOMPAS
1	0.003476	0
2	0.003478	0.000117
3	0.003433	9.59E-05
4	0.002936	9.36E-05
5	0.00269	7.55E-06
6	0.002728	-0.00013
7	0.002418	-0.000118
8	0.00249	-0.000109
9	0.002502	-7.52E-05
10	0.002595	-6.13E-05

**LAMPIRAN D (Lanjutan)**  
**Impuls Renponse dari ISSI dan LQ45**

Respon Indeks LQ45

Periode	ISSI	LQ
1	0.007015	0.001886
2	1.72E-04	8.12E-05
3	-1.24E-04	-0.000383
4	-0.000968	-1.81E-04
5	-0.000421	-0.000373
6	2.05E-05	-0.000344
7	-0.000572	-1.28E-04
8	0.000519	-6.49E-05
9	2.00E-05	1.41E-04
10	1.68E-04	5.77E-05

Respon ISSI

Periode	ISSI	LQ
1	0.003466	0
2	1.63E-05	3.46E-05
3	-6.09E-05	-0.000137
4	-0.00049	-6.18E-05
5	-0.00022	-0.000156
6	3.83E-05	-0.000149
7	-0.00031	-2.43E-05
8	0.000291	-4.52E-05
9	4.15E-06	6.68E-05
10	8.53E-05	2.51E-05

**LAMPIRAN D (Lanjutan)**  
**Impuls Response dari ISSI dan PEFINDO25**

Respon Indeks PEFINDO25

Periode	ISSI	PEFINDO
1	0.005506	0.004407
2	1.52E-05	0.000157
3	-2.52E-04	0.000275
4	-0.000627	0.000138
5	-0.00042	0.00023
6	-1.90E-04	-7.06E-05
7	-0.00068	1.02E-04
8	0.00066	2.82E-04
9	8.29E-05	-8.63E-05
10	1.39E-04	-6.77E-05

Respon ISSI

Periode	ISSI	PEFINDO
1	0.003449	0
2	-1.63E-05	0.000147
3	-8.26E-05	0.000215
4	-0.00051	0.000225
5	-0.00024	0.000156
6	3.48E-05	6.96E-05
7	-0.00031	2.44E-05
8	0.000296	9.85E-05
9	1.18E-05	-5.12E-05
10	7.60E-05	-2.84E-05

**LAMPIRAN D (Lanjutan)**  
**Impuls Response dari ISSI dan SRI-KEHATI**

Respon Indeks SRI-KEHATI

Periode	ISSI	SRI
1	0.007789	0.00265
2	0.000203	-6.81E-06
3	-8.26E-05	-0.000539
4	-0.001126	-0.000103
5	-0.000438	-0.000536
6	8.85E-05	-0.000422
7	-0.000606	-0.000148
8	0.000512	-6.01E-05
9	-8.88E-06	0.000152
10	0.000185	8.71E-05

Respon ISSI

Periode	ISSI	SRI
1	0.003465	0
2	1.37E-05	-1.08E-06
3	-6.24E-05	-0.000141
4	-0.00049	-5.26E-05
5	-0.00023	-0.000175
6	3.85E-05	-0.000134
7	-0.00031	-4.62E-05
8	0.000291	-3.10E-05
9	2.79E-06	6.62E-05
10	8.14E-05	3.33E-05



**LAMPIRAN E**  
**Variance Decomposition dari ISSI dan BISNIS27**

*Variance Decoposition ISSI*

Periode	Standard Error	BISNIS	ISSI
1	0.003472	89.66684	10.33316
2	0.003473	89.64342	10.35658
3	0.003474	89.60593	10.39407
4	0.00351	89.52775	10.47225
5	0.003524	89.5211	10.4789
6	0.003526	89.41451	10.58549
7	0.00354	89.39298	10.60702
8	0.003541	89.39801	10.60199
9	0.003541	89.38099	10.61901
10	0.003542	89.38435	10.61565

*Variance Decomposition Indeks BISNIS27*

Periode	Standard Error	BISNIS	ISSI
1	0.007909	100	0
2	0.007915	99.98982	0.010176
3	0.007925	99.82041	0.179594
4	0.007999	99.59478	0.40522
5	0.008033	99.37297	0.627029
6	0.008038	99.25131	0.748689
7	0.008064	99.21432	0.785682
8	0.008065	99.21363	0.786372
9	0.008066	99.19015	0.809848
10	0.008069	99.18789	0.812109

**LAMPIRAN E (Lanjutan)**  
**Variance Decomposition dari ISSI dan KOMPAS100**

*Variance Decomposition ISSI*

Periode	Standard Error	ISSI	KOMPAS
1	0.003476	100	0
2	0.003478	99.88722	0.112778
3	0.003479	99.88363	0.116365
4	0.003514	99.88591	0.114087
5	0.003524	99.82693	0.173074
6	0.003526	99.67568	0.324323
7	0.00354	99.67714	0.322857
8	0.003541	99.67664	0.323359
9	0.003541	99.66728	0.332725
10	0.003542	99.66598	0.334024

*Variance Decomposition Indeks KOMPAS100*

Periode	Standard Error	ISSI	KOMPAS
1	0.005598	94.39395	5.606046
2	0.005602	94.28745	5.712551
3	0.005604	94.25039	5.74961
4	0.005654	94.34552	5.654481
5	0.005669	94.2727	5.727302
6	0.005674	94.09422	5.905781
7	0.005695	94.13611	5.86389
8	0.005696	94.13637	5.863625
9	0.005696	94.12627	5.873729
10	0.005698	94.12809	5.871907

**LAMPIRAN E (Lanjutan)**  
**Variance Decomposition dari ISSI dan LQ45**

*Variance Decomposition ISSI*

Periode	Standard Error	ISSI	LQ
1	0.003466	100	0
2	0.003466	99.99004	0.009962
3	0.003469	99.83301	0.166993
4	0.003504	99.80519	0.194807
5	0.003514	99.60812	0.391876
6	0.003518	99.42931	0.570688
7	0.003531	99.42896	0.571039
8	0.003543	99.41661	0.58339
9	0.003544	99.38126	0.618737
10	0.003545	99.37666	0.623344

*Variance Decomposition Indeks LQ45*

Periode	Standard Error	ISSI	LQ
1	0.007264	93.25773	6.742274
2	0.007267	93.24986	6.750144
3	0.007278	92.99341	7.006587
4	0.007344	93.05866	6.941338
5	0.007366	92.8428	7.157203
6	0.007374	92.64101	7.35899
7	0.007397	92.65743	7.342566
8	0.007416	92.68636	7.313639
9	0.007417	92.65309	7.346909
10	0.007419	92.65126	7.348743



**LAMPIRAN E (Lanjutan)**  
**Variance Decomposition dari ISSI dan PEFINDO25**

*Variance Decomposition ISSI*

Periode	Standard Error	ISSI	PEFINDO
1	0.003449	100	0
2	0.003452	99.81899	0.181006
3	0.00346	99.4325	0.567499
4	0.003504	99.03274	0.967259
5	0.003515	98.84122	1.158777
6	0.003516	98.80263	1.197369
7	0.00353	98.8073	1.192701
8	0.003544	98.73923	1.260774
9	0.003544	98.71866	1.281342
10	0.003545	98.71291	1.287094

*Variance Decomposition Indeks PEFINDO25*

Periode	Standard Error	ISSI	PEFINDO
1	0.007053	60.94752	39.05248
2	0.007055	60.91739	39.08261
3	0.007064	60.87453	39.12547
4	0.007094	61.15731	38.84269
5	0.00711	61.22884	38.77116
6	0.007113	61.25048	38.74952
7	0.007146	61.58923	38.41077
8	0.007182	61.81801	38.18199
9	0.007183	61.81417	38.18583
10	0.007184	61.82289	38.17711

**LAMPIRAN E (Lanjutan)**  
**Variance Decomposition dari ISSI dan SRI-KEHATI**

*Variance Decomposition ISSI*

Periode	Standard Error	ISSI	SRI
1	0.003465	100	0
2	0.003465	99.99999	9.67E-06
3	0.003468	99.83415	0.165855
4	0.003503	99.81488	0.185119
5	0.003515	99.56938	0.430625
6	0.003517	99.42506	0.574941
7	0.003531	99.41251	0.587487
8	0.003544	99.4089	0.591101
9	0.003544	99.37426	0.625736
10	0.003545	99.36583	0.634171

*Variance Decomposition Indeks SRI-KEHATI*

Periode	Standard Error	ISSI	SRI
1	0.008228	89.62842	10.37158
2	0.00823	89.63469	1.04E+01
3	0.008248	89.2531	10.7469
4	0.008326	89.43606	10.56394
5	0.008354	89.09645	10.90355
6	0.008365	88.8711	11.1289
7	0.008389	88.90152	11.09848
8	0.008404	88.93812	11.06188
9	0.008406	88.90893	11.09107
10	0.008408	88.90475	11.09525

**LAMPIRAN F**  
**Uji L-jung Box VAR ISSI - BISNIS27**

Lags	Q-Stat	Prob.	df
1	0.076762	NA*	NA*
2	0.123544	NA*	NA*
3	0.245137	NA*	NA*
4	0.550954	NA*	NA*
5	0.588199	NA*	NA*
6	0.753214	NA*	NA*
7	6.589479	0.1592	4
8	12.19849	0.1426	8
9	14.29685	0.2822	12
10	19.47742	0.2447	16
11	25.14763	0.1958	20
12	27.62008	0.2764	24

**Uji L-jung Box VAR ISSI dengan KOMPAS100**

Lags	Q-Stat	Prob.	df
1	0.085472	NA*	NA*
2	0.137756	NA*	NA*
3	0.246969	NA*	NA*
4	0.522744	NA*	NA*
5	0.574663	NA*	NA*
6	0.727258	NA*	NA*
7	7.358685	0.1181	4
8	10.03086	0.2629	8
9	13.17488	0.3565	12
10	18.32791	0.305	16
11	21.29529	0.3799	20
12	24.02098	0.4604	24

**LAMPIRAN F (Lanjutan)**  
**Uji L-jung Box VAR ISSI dengan LQ45**

Lags	Q-Stat	<i>p-value</i>	df
1	0.015282	NA*	NA*
2	0.072039	NA*	NA*
3	0.168947	NA*	NA*
4	0.291788	NA*	NA*
5	0.413471	NA*	NA*
6	0.626826	NA*	NA*
7	0.678218	NA*	NA*
8	2.753768	0.5998	4
9	5.005327	0.757	8
10	10.73656	0.5516	12
11	13.42674	0.6413	16
12	15.72475	0.7335	20

**Uji L-jung Box VAR ISSI dengan PEFINDO25**

Lags	Q-Stat	Prob.	df
1	0.012318	NA*	NA*
2	0.167444	NA*	NA*
3	0.198506	NA*	NA*
4	0.236946	NA*	NA*
5	0.533876	NA*	NA*
6	0.666614	NA*	NA*
7	1.571417	NA*	NA*
8	6.722194	0.1513	4
9	9.881182	0.2735	8
10	20.22118	0.063	12
11	33.62569	0.0061	16
12	37.72144	0.0096	20

**LAMPIRAN F (Lanjutan)**  
**Uji L-jung Box VAR ISSI dengan SRI-KEHATI**

Lags	Q-Stat	Prob.	df
1	0.016922	NA*	NA*
2	0.041615	NA*	NA*
3	0.121522	NA*	NA*
4	0.31652	NA*	NA*
5	0.396398	NA*	NA*
6	0.64823	NA*	NA*
7	0.790413	NA*	NA*
8	2.903389	0.5741	4
9	4.222403	0.8365	8
10	10.01037	0.6151	12
11	14.2289	0.5817	16
12	16.69152	0.6729	20

## LAMPIRAN G

### Uji Heteroskedastisitas ISSI dengan BISNIS27

VAR Residual Heteroskedasticity Tests: Includes Cross Terms

Date: 06/15/17 Time: 22:16

Sample: 12/05/2011 10/17/2022

Included observations: 1412

Joint test:

Chi-sq	df	Prob.
902.7513	270	0.0000

Individual components:

Dependent	R-squared	F(90,1321)	Prob.	Chi-sq(90)	Prob.
res1*res1	0.273531	5.526488	0.0000	386.2254	0.0000
res2*res2	0.298628	6.249455	0.0000	421.6626	0.0000
res2*res1	0.289086	5.968557	0.0000	408.1888	0.0000

### LAMPIRAN G (Lanjutan)

#### Uji Heteroskedastisitas ISSI dengan KOMPAS100

VAR Residual Heteroskedasticity Tests: Includes Cross Terms

Date: 06/15/17 Time: 22:20

Sample: 12/05/2011 10/17/2022

Included observations: 1412

Joint test:

Chi-sq	df	Prob.
772.2611	270	0.0000

Individual components:

Dependent	R-squared	F(90,1321)	Prob.	Chi-sq(90)	Prob.
res1*res1	0.286984	5.907707	0.0000	405.2216	0.0000
res2*res2	0.261286	5.191583	0.0000	368.9356	0.0000
res2*res1	0.277593	5.640093	0.0000	391.9609	0.0000

**LAMPIRAN G (Lanjutan)**  
 Uji Heteroskedastisitas ISSI dengan LQ45

VAR Residual Heteroskedasticity Tests: Includes Cross Terms

Date: 06/15/17 Time: 22:20

Sample: 12/05/2011 10/17/2022

Included observations: 1411

Joint test:

Chi-sq	df	Prob.
1134.292	357	0.0000

Individual components:

Dependent	R-squared	F(119,1291)	Prob.	Chi-sq(119)	Prob.
res1*res1	0.345858	5.735942	0.0000	488.0054	0.0000
res2*res2	0.328732	5.312832	0.0000	463.8414	0.0000
res2*res1	0.337435	5.525100	0.0000	476.1202	0.0000



**LAMPIRAN G (Lanjutan)**  
 Uji Heteroskedastisitas ISSI dengan PEFINDO25

VAR Residual Heteroskedasticity Tests: Includes Cross Terms

Date: 06/15/17 Time: 22:21

Sample: 12/05/2011 10/17/2022

Included observations: 1411

Joint test:

Chi-sq	df	Prob.
1201.743	357	0.0000

Individual components:

Dependent	R-squared	F(119,1291)	Prob.	Chi-sq(119)	Prob.
res1*res1	0.351216	5.872901	0.0000	495.5652	0.0000
res2*res2	0.329240	5.325052	0.0000	464.5570	0.0000
res2*res1	0.358801	6.070723	0.0000	506.2684	0.0000

**LAMPIRAN G (Lanjutan)****Uji Heteroskedastisitas ISSI dengan SRI-KEHATI**

VAR Residual Heteroskedasticity Tests: No Cross Terms (only levels and squares)

Date: 06/15/17 Time: 22:23

Sample: 12/05/2011 10/17/2022

Included observations: 1411

Joint test:

Chi-sq	df	Prob.
497.6885	84	0.0000

Individual components:

Dependent	R-squared	F(28,1382)	Prob.	Chi-sq(28)	Prob.
res1*res1	0.189018	11.50380	0.0000	266.7042	0.0000
res2*res2	0.168919	10.03195	0.0000	238.3449	0.0000
res2*res1	0.181371	10.93531	0.0000	255.9147	0.0000



## LAMPIRAN H

### Hasil Estimasi Model BEKK-GARCH

	BISNIS27-ISSI	ISSI-KOMPAS100	ISSI-LQ45	ISSI-PEFINDO25	ISSI-SRI KEHATI
C(1,1)	0.00000228000	0.00000029600	0.00000036700	0.00000035800	0.00000065100
C(1,2)	0.00000106000	0.00000045100	0.00000070700	0.00000072600	0.00000132000
C(2,2)	0.00000055000	0.00000074200	0.00000150000	0.00000263000	0.00000298000
ARCH(1,1)	0.26656700000	0.23801500000	0.25321600000	0.24601900000	0.29761000000
ARCH(2,2)	0.29874400000	0.23280700000	0.24074100000	0.26984500000	0.25902300000
GARCH(1,1)	0.94031300000	0.95681500000	0.94946400000	0.94997500000	0.92204600000
GARCH(2,2)	0.92744500000	0.95742500000	0.95229500000	0.93154900000	0.93777900000



## LAMPIRAN I

### Uji Ljung-Box BEKK-GARCH ISSI dengan BISNIS27

Lags	Q-Stat	<i>p-value</i>	df
1	0.501531	0.9734	4
2	1.718426	0.9885	8
3	3.017551	0.9954	12
4	4.378924	0.9981	16
5	5.300583	0.9996	20
6	7.544742	0.9994	24
7	8.718767	0.9998	28
8	10.44742	0.9999	32
9	11.79439	1	36
10	18.13691	0.9988	40
11	22.63242	0.9969	44
12	26.28563	0.9955	48

### Uji Ljung-Box BEKK-GARCH ISSI dengan KOMPAS100

Lags	Q-Stat	<i>p-value</i>	df
1	0.412231	0.9815	4
2	0.670851	0.9996	8
3	1.460017	0.9999	12
4	2.276757	1	16
5	2.812757	1	20
6	4.90006	1	24
7	6.346582	1	28
8	7.391043	1	32
9	9.611234	1	36
10	16.34395	0.9997	40
11	18.94778	0.9997	44
12	23.4795	0.9989	48

**LAMPIRAN I (Lanjutan)**  
**Uji Ljung-Box BEKK-GARCH ISSI dengan LQ45**

Lags	Q-Stat	<i>p-value</i>	df
1	0.534144	0.9701	4
2	0.713637	0.9995	8
3	2.227422	0.999	12
4	3.022441	0.9998	16
5	3.718412	1	20
6	5.644955	1	24
7	7.743222	0.9999	28
8	8.565759	1	32
9	10.25823	1	36
10	15.90562	0.9998	40
11	17.87523	0.9998	44
12	22.00247	0.9995	48

**Uji Ljung-Box BEKK-GARCH ISSI dengan PEFINDO25**

Lags	Q-Stat	<i>p-value</i>	df
1	1.420128	0.8407	4
2	2.053529	0.9793	8
3	4.163887	0.9803	12
4	4.408779	0.998	16
5	4.660655	0.9998	20
6	5.408387	1	24
7	6.770014	1	28
8	12.64977	0.9991	32
9	15.65466	0.9987	36
10	23.29158	0.9839	40
11	34.78119	0.8386	44
12	37.30104	0.8678	48

**LAMPIRAN I (Lanjutan)**  
**Uji Ljung-Box BEKK-GARCH ISSI dengan SRIKEHATI**

Lags	Q-Stat	<i>p-value</i>	df
1	0.716753	0.9492	4
2	1.710523	0.9886	8
3	3.200206	0.994	12
4	4.306733	0.9983	16
5	5.322864	0.9996	20
6	7.015053	0.9997	24
7	8.124689	0.9999	28
8	8.830426	1	32
9	10.46672	1	36
10	15.77416	0.9998	40
11	18.25124	0.9998	44
12	21.80923	0.9996	48





## LAMPIRAN J

### Model ADF

Proses Autogression dengan lag 1 atau AR(1) pada  $y_t$  adalah

$$r_t = \mu + \varphi r_{t-1} + \varepsilon_t$$

maka model AR(2) adalah

$$r_t = \mu + \varphi_1 r_{t-1} + \varphi_2 r_{t-2} + \varepsilon_t$$

melalui operasi penjumlahan dan pengurangan pada ruas kanan persamaan diatas dengan  $\varphi_2 r_{t-1}$ , diperoleh

$$r_t = \mu + \varphi_1 r_{t-1} + \varphi_2 r_{t-2} + (\varphi_2 r_{t-1} - \varphi_2 r_{t-1}) + \varepsilon_t$$

$$r_t = \mu + (\varphi_1 + \varphi_2) r_{t-1} - \varphi_2 (r_{t-1} - r_{t-2}) + \varepsilon_t$$

$$r_t = \mu + (\varphi_1 + \varphi_2) r_{t-1} - \varphi_2 \Delta r_{t-1} + \varepsilon_t$$

selanjutnya, dilakukan pengurangan ruas kiri dan kanan dengan  $r_{t-1}$  maka model AR(2) menjadi

$$r_t - r_{t-1} = \mu + (\varphi_1 + \varphi_2) r_{t-1} - r_{t-1} - \varphi_2 \Delta r_{t-1} + \varepsilon_t$$

$$\Delta r_t = \mu + (\varphi_1 + \varphi_2 - 1) r_{t-1} - \varphi_2 \Delta r_{t-1} + \varepsilon_t$$

Dengan cara yang sama akan dihitung untuk Model AR(3)

$$r_t = \mu + \varphi_1 r_{t-1} + \varphi_2 r_{t-2} + \varphi_3 r_{t-3} + \varepsilon_t$$

$$r_t = \mu + \varphi_1 r_{t-1} + \varphi_2 r_{t-2} + \varphi_3 r_{t-3} + (\varphi_3 r_{t-2} - \varphi_3 r_{t-2}) + \varepsilon_t$$

$$r_t = \mu + \varphi_1 r_{t-1} + \varphi_2 r_{t-2} + \varphi_3 r_{t-3} + (\varphi_3 r_{t-2} - \varphi_3 r_{t-2}) + \varepsilon_t$$

$$r_t = \mu + \varphi_1 r_{t-1} + (\varphi_2 + \varphi_3) r_{t-2} - \varphi_3 (r_{t-2} - r_{t-3}) + \varepsilon_t$$

$$r_t = \mu + \varphi_1 r_{t-1} + (\varphi_2 + \varphi_3) r_{t-2} - \varphi_3 \Delta r_{t-2} + \varepsilon_t$$

$$r_t = \mu + \varphi_1 r_{t-1} + (\varphi_2 + \varphi_3) r_{t-2} - \varphi_3 \Delta r_{t-2} + [(\varphi_2 + \varphi_3) r_{t-1} - (\varphi_2 + \varphi_3) r_{t-1}] + \varepsilon_t$$

$$r_t = \mu + (\varphi_1 + \varphi_2 + \varphi_3) r_{t-1} - (\varphi_2 + \varphi_3) \Delta r_{t-1} - \varphi_3 \Delta r_{t-2} + \varepsilon_t$$

$$r_t - r_{t-1} = \mu + (\varphi_1 + \varphi_2 + \varphi_3) r_{t-1} - r_{t-1} - (\varphi_2 + \varphi_3) \Delta r_{t-1} - \varphi_3 \Delta r_{t-2} + \varepsilon_t$$

$$\Delta r_t = \mu + (\varphi_1 + \varphi_2 + \varphi_3 - 1) r_{t-1} - (\varphi_2 + \varphi_3) \Delta r_{t-1} - \varphi_3 \Delta r_{t-2} + \varepsilon_t$$

Untuk model AR (4)

$$r_t = \mu + \varphi_1 r_{t-1} + \varphi_2 r_{t-2} + \varphi_3 r_{t-3} + \varphi_4 r_{t-4} + \varepsilon_t$$

$$\begin{aligned}
r_t &= \mu + \varphi_1 r_{t-1} + \varphi_2 r_{t-2} + \varphi_3 r_{t-3} + \varphi_4 r_{t-4} + \\
&\quad (\varphi_4 r_{t-3} - \varphi_4 r_{t-3}) + \varepsilon_t \\
r_t &= \mu + \varphi_1 r_{t-1} + \varphi_2 r_{t-2} + (\varphi_3 + \varphi_4) r_{t-3} - \\
&\quad \varphi_4 (r_{t-3} - r_{t-4}) + \varepsilon_t \\
r_t &= \mu + \varphi_1 r_{t-1} + \varphi_2 r_{t-2} + (\varphi_3 + \varphi_4) r_{t-3} \\
&\quad - \varphi_4 \Delta r_{t-3} + \varepsilon_t \\
r_t &= \mu + \varphi_1 r_{t-1} + \varphi_2 r_{t-2} + (\varphi_3 + \varphi_4) r_{t-3} \\
&\quad - \varphi_4 \Delta r_{t-3} + [(\varphi_3 + \varphi_4) r_{t-2} - (\varphi_3 + \varphi_4) r_{t-2}] \\
&\quad + \varepsilon_t \\
r_t &= \mu + \varphi_1 r_{t-1} + (\varphi_2 + \varphi_3 + \varphi_4) r_{t-2} \\
&\quad - (\varphi_3 + \varphi_4) (r_{t-2} - r_{t-3}) - \varphi_4 \Delta r_{t-3} + \varepsilon_t \\
r_t &= \mu + \varphi_1 r_{t-1} + (\varphi_2 + \varphi_3 + \varphi_4) r_{t-2} \\
&\quad - (\varphi_3 + \varphi_4) \Delta r_{t-2} - \varphi_4 \Delta r_{t-3} + \varepsilon_t \\
r_t &= \mu + \varphi_1 r_{t-1} + (\varphi_2 + \varphi_3 + \varphi_4) r_{t-2} \\
&\quad - (\varphi_3 + \varphi_4) \Delta r_{t-2} - \varphi_4 \Delta r_{t-3} \\
&\quad + [(\varphi_2 + \varphi_3 + \varphi_4) r_{t-1} - (\varphi_2 + \varphi_3 + \varphi_4) r_{t-1}] \\
&\quad + \varepsilon_t \\
r_t &= \mu + (\varphi_1 + \varphi_2 + \varphi_3 + \varphi_4) r_{t-1} \\
&\quad - (\varphi_2 + \varphi_3 + \varphi_4) \Delta r_{t-1} - (\varphi_3 + \varphi_4) \Delta r_{t-2} \\
&\quad - \varphi_4 \Delta r_{t-3} + \varepsilon_t \\
r_t &= \mu + (\varphi_1 + \varphi_2 + \varphi_3 + \varphi_4) r_{t-1} \\
&\quad - (\varphi_2 + \varphi_3 + \varphi_4) \Delta r_{t-1} - (\varphi_3 + \varphi_4) \Delta r_{t-2} \\
&\quad - \varphi_4 \Delta r_{t-3} + \varepsilon_t \\
r_t - r_{t-1} &= \mu + (\varphi_1 + \varphi_2 + \varphi_3 + \varphi_4) r_{t-1} - r_{t-1} \\
&\quad - (\varphi_2 + \varphi_3 + \varphi_4) \Delta r_{t-1} - (\varphi_3 + \varphi_4) \Delta r_{t-2} \\
&\quad - \varphi_4 \Delta r_{t-3} + \varepsilon_t \\
\Delta r_t &= \mu + (\varphi_1 + \varphi_2 + \varphi_3 + \varphi_4 - 1) r_{t-1} \\
&\quad - (\varphi_2 + \varphi_3 + \varphi_4) \Delta r_{t-1} - (\varphi_3 + \varphi_4) \Delta r_{t-2} \\
&\quad - \varphi_4 \Delta r_{t-3} + \varepsilon_t
\end{aligned}$$

Dari proses perhitungan diatas didapatkan model ADF untuk AR(2), AR(3) dan AR(4) yaitu

1. AR(2)

$$\Delta r_t = \mu + (\varphi_1 + \varphi_2 - 1) r_{t-1} - \varphi_2 \Delta r_{t-1} + \varepsilon_t$$

2. AR(3)

$$\Delta r_t = \mu + (\varphi_1 + \varphi_2 + \varphi_3 - 1) r_{t-1} - (\varphi_2 + \varphi_3) \Delta r_{t-1}$$

$$-\varphi_3\Delta r_{t-2} + \varepsilon_t$$

### 3. AR(4)

$$\begin{aligned}\Delta r_t &= \mu + (\varphi_1 + \varphi_2 + \varphi_3 + \varphi_4 - 1)r_{t-1} \\ &\quad -(\varphi_2 + \varphi_3 + \varphi_4)\Delta r_{t-1} - (\varphi_3 + \varphi_4)\Delta r_{t-2} \\ &\quad -\varphi_4\Delta r_{t-3} + \varepsilon_t\end{aligned}$$

Maka, model ADF untuk AR(p) adalah

$$\begin{aligned}\Delta r_t &= \mu + (\varphi_1 + \varphi_2 + \cdots + \varphi_p - 1)r_{t-1} \\ &\quad -(\varphi_2 + \varphi_3 + \cdots + \varphi_p)\Delta r_{t-1} - \cdots - (\varphi_p)\Delta r_{t-p+1}\end{aligned}$$

dengan,

$$\begin{aligned}\beta &= \varphi_1 + \varphi_2 + \cdots + \varphi_p - 1 \\ \delta_1 &= \varphi_2 + \varphi_3 + \cdots + \varphi_p \\ \delta_2 &= \varphi_3 + \varphi_4 + \cdots + \varphi_p \\ \vdots &\quad \vdots \quad \vdots \\ \delta_p &= \varphi_p\end{aligned}$$

Maka persamamaan model ADF untuk model AR (p) menjadi

$$\Delta r_t = \mu + \beta r_{t-1} + \sum_{i=1}^p \delta_i \Delta r_{t-i} + \varepsilon_t$$



## LAMPIRAN K

### Model Vector Auto Regression

Pada Tugas Akhir ini, digunakan model bivariate Vector Auto Regression pada return yang diambil dari closed price Indeks Konstituen yang ada di Indonesia. Model VAR nya adalah

$$\begin{aligned}r_{1,t} &= \theta_{01} + \theta_{11}r_{1,t-1} + \theta_{12}r_{2,t-1} + \varepsilon_t \\r_{2,t} &= \theta_{02} + \theta_{21}r_{1,t-1} + \theta_{22}r_{2,t-1} + \varepsilon_t\end{aligned}$$

Untuk menduga parameter model VAR digunakan metode Ordinary Least Square (OLS). Berikut ini adalah pendugaan parameter pada Model VAR(1) dengan menggunakan OLS

Untuk persamaan  $r_{1,t} = \theta_{01} + \theta_{11}r_{1,t-1} + \theta_{12}r_{2,t-1} + \varepsilon_t$

$$\begin{aligned}S(\theta) &= \sum \varepsilon_t^2 \\&= \sum (r_{1,t} - \theta_{01} - \theta_{11}r_{1,t-1} - \theta_{12}r_{2,t-1})^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\frac{\partial S(\theta)}{\partial \theta_{01}} &= -2 \sum (r_{1,t} - \theta_{01} - \theta_{11}r_{1,t-1} - \theta_{12}r_{2,t-1}) \\0 &= \sum (r_{1,t} - \theta_{01} - \theta_{11}r_{1,t-1} - \theta_{12}r_{2,t-1}) \\ \theta_{01} &= \sum (r_{1,t} - \theta_{11}r_{1,t-1} - \theta_{12}r_{2,t-1}) \\&= \sum (r_{1,t}) - \theta_{11} \sum (r_{1,t-1}) - \theta_{12} \sum (r_{2,t-1})\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\frac{\partial S(\theta)}{\partial \theta_{11}} &= -2(r_{1,t-1}) \sum (r_{1,t} - \theta_{01} - \theta_{11}r_{1,t-1} - \theta_{12}r_{2,t-1}) \\0 &= \sum (r_{1,t}r_{1,t-1} - \theta_{01}r_{1,t-1} - \theta_{11}r_{1,t-1}r_{1,t-1} \\&\quad - \theta_{12}r_{2,t-1}r_{1,t-1}) \\&= \sum (r_{1,t}r_{1,t-1}) - \theta_{01} \sum (r_{1,t-1}) - \theta_{11} \sum (r_{1,t-1}r_{1,t-1}) \\&\quad - \theta_{12} \sum (r_{2,t-1}r_{1,t-1}) \\ \theta_{11} &= \frac{\sum (r_{1,t}r_{1,t-1}) - \theta_{01} \sum (r_{1,t-1}) - \theta_{12} \sum (r_{2,t-1}r_{1,t-1})}{\sum (r_{1,t-1})^2}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\frac{\partial S(\theta)}{\partial \theta_{12}} &= -2(r_{2,t-1}) \sum (r_{1,t} - \theta_{01} - \theta_{11}r_{1,t-1} - \theta_{12}r_{2,t-1}) \\
0 &= \sum (r_{1,t}r_{2,t-1} - \theta_{01}r_{2,t-1} - \theta_{11}r_{1,t-1}r_{2,t-1} \\
&\quad - \theta_{12}r_{2,t-1}r_{2,t-1}) \\
&= \sum (r_{1,t}r_{2,t-1}) - \theta_{01} \sum (r_{2,t-1}) - \theta_{12} \sum (r_{2,t-1})^2 \\
&\quad - \theta_{11} \sum (r_{1,t-1}r_{2,t-1}) \\
\theta_{12} \sum (r_{2,t-1})^2 &= \sum (r_{1,t}r_{2,t-1}) - \theta_{01} \sum (r_{2,t-1}) - \theta_{11} \sum (r_{1,t-1}r_{2,t-1}) \\
\theta_{12} &= \frac{\sum (r_{1,t}r_{2,t-1}) - \theta_{01} \sum (r_{2,t-1}) - \theta_{11} \sum (r_{1,t-1}r_{2,t-1})}{\sum (r_{2,t-1})^2}
\end{aligned}$$

Selanjutnya, didapatkan

$$\begin{aligned}
\theta_{01} &= \sum (r_{1,t}) - \theta_{11} \sum (r_{1,t-1}) - \theta_{12} \sum (r_{2,t-1}) \\
\theta_{11} &= \frac{\sum (r_{1,t}r_{1,t-1}) - \theta_{01} \sum (r_{1,t-1}) - \theta_{12} \sum (r_{2,t-1}r_{1,t-1})}{\sum (r_{1,t-1})^2} \\
\theta_{12} &= \frac{\sum (r_{1,t}r_{2,t-1}) - \theta_{01} \sum (r_{2,t-1}) - \theta_{11} \sum (r_{1,t-1}r_{2,t-1})}{\sum (r_{2,t-1})^2}
\end{aligned}$$

1. Substitusi  $\theta_{01}$  ke  $\theta_{11}$

$$\begin{aligned}
\theta_{11} &= \frac{\sum (r_{1,t}r_{1,t-1}) - \theta_{01} \sum (r_{1,t-1}) - \theta_{12} \sum (r_{2,t-1}r_{1,t-1})}{\sum (r_{1,t-1})^2} \\
&= \frac{\sum (r_{1,t}r_{1,t-1})}{\sum (r_{1,t-1})^2} - \theta_{01} \frac{\sum (r_{1,t-1})}{\sum (r_{1,t-1})^2} - \theta_{12} \frac{\sum (r_{2,t-1}r_{1,t-1})}{\sum (r_{1,t-1})^2} \\
&= \frac{\sum (r_{1,t}r_{1,t-1}) - \theta_{12} \sum (r_{2,t-1}r_{1,t-1})}{\sum (r_{1,t-1})^2} \\
&\quad - \left( \sum (r_{1,t}) - \theta_{11} \sum (r_{1,t-1}) - \theta_{12} \sum (r_{2,t-1}) \right) \left( \frac{\sum (r_{1,t-1})}{\sum (r_{1,t-1})^2} \right) \\
&= \frac{\sum (r_{1,t}r_{1,t-1}) - \theta_{12} \sum (r_{2,t-1}r_{1,t-1})}{\sum (r_{1,t-1})^2} + \frac{\theta_{12} \sum (r_{2,t-1}) \sum (r_{1,t-1})}{\sum (r_{1,t-1})^2} \\
&\quad - \frac{\sum (r_{1,t-1}) \sum (r_{1,t})}{\sum (r_{1,t-1})^2} + \theta_{11} \frac{\sum (r_{1,t-1}) \sum (r_{1,t-1})}{\sum (r_{1,t-1})^2}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
&= \frac{\Sigma(r_{1,t}r_{1,t-1}) - \Sigma(r_{1,t-1})\Sigma(r_{1,t})}{\Sigma(r_{1,t-1})^2} \\
&\quad + \theta_{12} \left( \frac{\Sigma(r_{2,t-1})\Sigma(r_{1,t-1}) - \Sigma(r_{2,t-1}r_{1,t-1})}{\Sigma(r_{1,t-1})^2} \right) \\
&\quad + \theta_{11} \frac{(\Sigma(r_{1,t-1}))^2}{\Sigma(r_{1,t-1})^2}
\end{aligned}$$

Parameter  $\theta_{11}$  diletakkan pada sebelah kiri

$$\begin{aligned}
\theta_{11} &= \frac{\Sigma(r_{1,t}r_{1,t-1}) - \Sigma(r_{1,t-1})\Sigma(r_{1,t})}{\Sigma(r_{1,t-1})^2} \\
- \theta_{11} \frac{(\Sigma(r_{1,t-1}))^2}{\Sigma(r_{1,t-1})^2} &\quad + \theta_{12} \left( \frac{\Sigma(r_{2,t-1})\Sigma(r_{1,t-1}) - \Sigma(r_{2,t-1}r_{1,t-1})}{\Sigma(r_{1,t-1})^2} \right) \\
\theta_{11} \left( 1 - \frac{(\Sigma(r_{1,t-1}))^2}{\Sigma(r_{1,t-1})^2} \right) &= \frac{\Sigma(r_{1,t}r_{1,t-1}) - \Sigma(r_{1,t-1})\Sigma(r_{1,t})}{\Sigma(r_{1,t-1})^2} \\
&\quad + \theta_{12} \left( \frac{\Sigma(r_{2,t-1})\Sigma(r_{1,t-1}) - \Sigma(r_{2,t-1}r_{1,t-1})}{\Sigma(r_{1,t-1})^2} \right) \\
\left( \frac{\theta_{11}}{\Sigma(r_{1,t-1})^2} \right) &= \frac{\Sigma(r_{1,t}r_{1,t-1}) - \Sigma(r_{1,t-1})\Sigma(r_{1,t})}{\Sigma(r_{1,t-1})^2} \\
&\quad + \theta_{12} \left( \frac{\Sigma(r_{2,t-1})\Sigma(r_{1,t-1}) - \Sigma(r_{2,t-1}r_{1,t-1})}{\Sigma(r_{1,t-1})^2} \right) \\
\theta_{11} &= \frac{\Sigma(r_{1,t}r_{1,t-1}) - \Sigma(r_{1,t-1})\Sigma(r_{1,t})}{\Sigma(r_{1,t-1})^2 - (\Sigma(r_{1,t-1}))^2} \\
&\quad + \theta_{12} \left( \frac{\Sigma(r_{2,t-1})\Sigma(r_{1,t-1}) - \Sigma(r_{2,t-1}r_{1,t-1})}{\Sigma(r_{1,t-1})^2 - (\Sigma(r_{1,t-1}))^2} \right)
\end{aligned}$$

2. Substitusi  $\theta_{01}$  ke  $\theta_{12}$

$$\theta_{12} = \frac{\Sigma(r_{1,t}r_{2,t-1}) - \theta_{01}\Sigma(r_{2,t-1}) - \theta_{11}\Sigma(r_{1,t-1}r_{2,t-1})}{\Sigma(r_{2,t-1})^2}$$



$$\begin{aligned}
&= \frac{\Sigma(r_{1,t}r_{2,t-1}) - \theta_{11} \frac{\Sigma(r_{1,t-1}r_{2,t-1})}{\Sigma(r_{2,t-1})^2} - \theta_{01} \frac{\Sigma(r_{2,t-1})}{\Sigma(r_{2,t-1})^2}}{\Sigma(r_{2,t-1})^2} \\
&= \frac{\Sigma(r_{1,t}r_{2,t-1}) - \theta_{11} \frac{\Sigma(r_{1,t-1}r_{2,t-1})}{\Sigma(r_{2,t-1})^2}}{\Sigma(r_{2,t-1})^2} \\
&\quad - \left( \sum(r_{1,t}) - \theta_{11} \sum(r_{1,t-1}) - \theta_{12} \sum(r_{2,t-1}) \right) \frac{\Sigma(r_{2,t-1})}{\Sigma(r_{2,t-1})^2} \\
&= \frac{\Sigma(r_{1,t}r_{2,t-1}) - \theta_{11} \frac{\Sigma(r_{1,t-1}r_{2,t-1})}{\Sigma(r_{2,t-1})^2}}{\Sigma(r_{2,t-1})^2} \\
&\quad - \frac{\Sigma(r_{2,t-1}) \Sigma(r_{1,t}) + \theta_{11} \frac{\Sigma(r_{1,t-1}) \Sigma(r_{2,t-1})}{\Sigma(r_{2,t-1})^2}}{\Sigma(r_{2,t-1})^2} \\
&\quad + \theta_{12} \frac{\Sigma(r_{2,t-1}) \Sigma(r_{2,t-1})}{\Sigma(r_{2,t-1})^2} \\
&= \frac{\Sigma(r_{1,t}r_{2,t-1}) - \Sigma(r_{2,t-1}) \Sigma(r_{1,t})}{\Sigma(r_{2,t-1})^2} \\
&\quad + \theta_{11} \left( \frac{\Sigma(r_{1,t-1}) \Sigma(r_{2,t-1}) - \Sigma(r_{1,t-1}r_{2,t-1})}{\Sigma(r_{2,t-1})^2} \right) \\
&\quad + \theta_{12} \frac{(\Sigma(r_{2,t-1}))^2}{\Sigma(r_{2,t-1})^2}
\end{aligned}$$

Parameter  $\theta_{12}$  diletakkan pada sebelah kiri

$$\begin{aligned}
\theta_{12} &= \frac{\Sigma(r_{1,t}r_{2,t-1}) - \Sigma(r_{2,t-1}) \Sigma(r_{1,t})}{\Sigma(r_{2,t-1})^2} \\
- \theta_{12} \frac{(\Sigma(r_{2,t-1}))^2}{\Sigma(r_{2,t-1})^2} &+ \theta_{11} \left( \frac{\Sigma(r_{1,t-1}) \Sigma(r_{2,t-1}) - \Sigma(r_{1,t-1}r_{2,t-1})}{\Sigma(r_{2,t-1})^2} \right) \\
\theta_{12} \left( 1 - \frac{(\Sigma(r_{2,t-1}))^2}{\Sigma(r_{2,t-1})^2} \right) &= \frac{\Sigma(r_{1,t}r_{2,t-1}) - \Sigma(r_{2,t-1}) \Sigma(r_{1,t})}{\Sigma(r_{2,t-1})^2} \\
&\quad + \theta_{11} \left( \frac{\Sigma(r_{1,t-1}) \Sigma(r_{2,t-1}) - \Sigma(r_{1,t-1}r_{2,t-1})}{\Sigma(r_{2,t-1})^2} \right) \\
\left( \frac{\theta_{12}}{\Sigma(r_{2,t-1})^2} \frac{\Sigma(r_{2,t-1})^2 - (\Sigma(r_{2,t-1}))^2}{\Sigma(r_{2,t-1})^2} \right) &= \frac{\Sigma(r_{1,t}r_{2,t-1}) - \Sigma(r_{2,t-1}) \Sigma(r_{1,t})}{\Sigma(r_{2,t-1})^2}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& +\theta_{11} \left( \frac{\Sigma(r_{1,t-1}) \Sigma(r_{2,t-1}) - \Sigma(r_{1,t-1} r_{2,t-1})}{\Sigma(r_{2,t-1})^2} \right) \\
\theta_{12} & = \frac{\Sigma(r_{1,t} r_{2,t-1}) - \Sigma(r_{2,t-1}) \Sigma(r_{1,t})}{\Sigma(r_{2,t-1})^2 - (\Sigma(r_{2,t-1}))^2} \\
& +\theta_{11} \left( \frac{\Sigma(r_{1,t-1}) \Sigma(r_{2,t-1}) - \Sigma(r_{1,t-1} r_{2,t-1})}{\Sigma(r_{2,t-1})^2 - (\Sigma(r_{2,t-1}))^2} \right)
\end{aligned}$$

Maka persamaan  $\theta_{11}$  dan  $\theta_{12}$  menjadi

$$\begin{aligned}
\theta_{11} & = \frac{\Sigma(r_{1,t} r_{1,t-1}) - \Sigma(r_{1,t-1}) \Sigma(r_{1,t})}{\Sigma(r_{1,t-1})^2 - (\Sigma(r_{1,t-1}))^2} \\
& +\theta_{12} \left( \frac{\Sigma(r_{2,t-1}) \Sigma(r_{1,t-1}) - \Sigma(r_{2,t-1} r_{1,t-1})}{\Sigma(r_{1,t-1})^2 - (\Sigma(r_{1,t-1}))^2} \right) \\
\theta_{12} & = \frac{\Sigma(r_{1,t} r_{2,t-1}) - \Sigma(r_{2,t-1}) \Sigma(r_{1,t})}{\Sigma(r_{2,t-1})^2 - (\Sigma(r_{2,t-1}))^2} \\
& +\theta_{11} \left( \frac{\Sigma(r_{1,t-1}) \Sigma(r_{2,t-1}) - \Sigma(r_{1,t-1} r_{2,t-1})}{\Sigma(r_{2,t-1})^2 - (\Sigma(r_{2,t-1}))^2} \right)
\end{aligned}$$

3. Substitusi  $\theta_{12}$  ke  $\theta_{11}$

$$\begin{aligned}
\theta_{11} & = \frac{\Sigma(r_{1,t} r_{1,t-1}) - \Sigma(r_{1,t-1}) \Sigma(r_{1,t})}{\Sigma(r_{1,t-1})^2 - (\Sigma(r_{1,t-1}))^2} \\
& + \left( \frac{\Sigma(r_{1,t} r_{2,t-1}) - \Sigma(r_{2,t-1}) \Sigma(r_{1,t})}{\Sigma(r_{2,t-1})^2 - (\Sigma(r_{2,t-1}))^2} \right) \left( \frac{\Sigma(r_{2,t-1}) \Sigma(r_{1,t-1}) - \Sigma(r_{2,t-1} r_{1,t-1})}{\Sigma(r_{1,t-1})^2 - (\Sigma(r_{1,t-1}))^2} \right) \\
& +\theta_{11} \left( \frac{\Sigma(r_{1,t-1}) \Sigma(r_{2,t-1}) - \Sigma(r_{1,t-1} r_{2,t-1})}{\Sigma(r_{2,t-1})^2 - (\Sigma(r_{2,t-1}))^2} \right) \left( \frac{\Sigma(r_{2,t-1}) \Sigma(r_{1,t-1}) - \Sigma(r_{2,t-1} r_{1,t-1})}{\Sigma(r_{1,t-1})^2 - (\Sigma(r_{1,t-1}))^2} \right) \\
& = \frac{\Sigma(r_{1,t} r_{1,t-1}) - \Sigma(r_{1,t-1}) \Sigma(r_{1,t})}{\Sigma(r_{1,t-1})^2 - (\Sigma(r_{1,t-1}))^2} \\
& + \left( \frac{(\Sigma(r_{1,t} r_{2,t-1}) - \Sigma(r_{2,t-1}) \Sigma(r_{1,t})) (\Sigma(r_{2,t-1}) \Sigma(r_{1,t-1}) - \Sigma(r_{2,t-1} r_{1,t-1}))}{(\Sigma(r_{2,t-1})^2 - (\Sigma(r_{2,t-1}))^2) (\Sigma(r_{1,t-1})^2 - (\Sigma(r_{1,t-1}))^2)} \right)
\end{aligned}$$

$$+ \theta_{11} \left( \frac{(\Sigma(r_{1,t-1}) \Sigma(r_{2,t-1}) - \Sigma(r_{1,t-1} r_{2,t-1}))^2}{(\Sigma(r_{2,t-1})^2 - (\Sigma(r_{2,t-1}))^2)(\Sigma(r_{1,t-1})^2 - (\Sigma(r_{1,t-1}))^2)} \right)$$

Parameter  $\theta_{11}$  diletakkan pada sebelah kiri

$$\begin{aligned} \theta_{11} - \theta_{11} & \left( \frac{(\Sigma(r_{1,t-1}) \Sigma(r_{2,t-1}) - \Sigma(r_{1,t-1} r_{2,t-1}))^2}{(\Sigma(r_{2,t-1})^2 - (\Sigma(r_{2,t-1}))^2)(\Sigma(r_{1,t-1})^2 - (\Sigma(r_{1,t-1}))^2)} \right) \\ &= \theta_{11} \left( 1 - \frac{(\Sigma(r_{1,t-1}) \Sigma(r_{2,t-1}) - \Sigma(r_{1,t-1} r_{2,t-1}))^2}{(\Sigma(r_{2,t-1})^2 - (\Sigma(r_{2,t-1}))^2)(\Sigma(r_{1,t-1})^2 - (\Sigma(r_{1,t-1}))^2)} \right) \\ &= \theta_{11} \left( \frac{(\Sigma(r_{2,t-1})^2 - (\Sigma(r_{2,t-1}))^2)(\Sigma(r_{1,t-1})^2 - (\Sigma(r_{1,t-1}))^2) - ((\Sigma(r_{1,t-1}) \Sigma(r_{2,t-1}) - \Sigma(r_{1,t-1} r_{2,t-1}))^2)}{(\Sigma(r_{2,t-1})^2 - (\Sigma(r_{2,t-1}))^2)(\Sigma(r_{1,t-1})^2 - (\Sigma(r_{1,t-1}))^2)} \right) \end{aligned}$$

Maka persamaan  $\theta_{11}$  menjadi

$$\begin{aligned} \theta_{11} &= \frac{(\Sigma(r_{1,t} r_{1,t-1}) - \Sigma(r_{1,t-1}) \Sigma(r_{1,t}))(\Sigma(r_{2,t-1})^2 - (\Sigma(r_{2,t-1}))^2)}{(\Sigma(r_{2,t-1})^2 - (\Sigma(r_{2,t-1}))^2)(\Sigma(r_{1,t-1})^2 - (\Sigma(r_{1,t-1}))^2) - ((\Sigma(r_{1,t-1}) \Sigma(r_{2,t-1}) - \Sigma(r_{1,t-1} r_{2,t-1}))^2)} \\ &+ \left( \frac{(\Sigma(r_{1,t} r_{2,t-1}) - \Sigma(r_{2,t-1}) \Sigma(r_{1,t}))(\Sigma(r_{2,t-1}) \Sigma(r_{1,t-1}) - \Sigma(r_{2,t-1} r_{1,t-1}))}{(\Sigma(r_{2,t-1})^2 - (\Sigma(r_{2,t-1}))^2)(\Sigma(r_{1,t-1})^2 - (\Sigma(r_{1,t-1}))^2) - ((\Sigma(r_{1,t-1}) \Sigma(r_{2,t-1}) - \Sigma(r_{1,t-1} r_{2,t-1}))^2)} \right) \end{aligned}$$

4. Substitusi  $\theta_{11}$  ke  $\theta_{12}$

$$\begin{aligned} \theta_{12} &= \frac{\Sigma(r_{1,t} r_{2,t-1}) - \Sigma(r_{2,t-1}) \Sigma(r_{1,t})}{\Sigma(r_{2,t-1})^2 - (\Sigma(r_{2,t-1}))^2} \\ &+ \theta_{11} \left( \frac{\Sigma(r_{1,t-1}) \Sigma(r_{2,t-1}) - \Sigma(r_{1,t-1} r_{2,t-1})}{\Sigma(r_{2,t-1})^2 - (\Sigma(r_{2,t-1}))^2} \right) \\ &= \frac{\Sigma(r_{1,t} r_{2,t-1}) - \Sigma(r_{2,t-1}) \Sigma(r_{1,t})}{\Sigma(r_{2,t-1})^2 - (\Sigma(r_{2,t-1}))^2} \\ &+ \left( \frac{\Sigma(r_{1,t-1}) \Sigma(r_{2,t-1}) - \Sigma(r_{1,t-1} r_{2,t-1})}{\Sigma(r_{2,t-1})^2 - (\Sigma(r_{2,t-1}))^2} \right) \left( \frac{\Sigma(r_{1,t} r_{1,t-1}) - \Sigma(r_{1,t-1}) \Sigma(r_{1,t})}{\Sigma(r_{1,t-1})^2 - (\Sigma(r_{1,t-1}))^2} \right) \\ &+ \left( \frac{\Sigma(r_{1,t-1}) \Sigma(r_{2,t-1}) - \Sigma(r_{1,t-1} r_{2,t-1})}{\Sigma(r_{2,t-1})^2 - (\Sigma(r_{2,t-1}))^2} \right) \theta_{12} \left( \frac{\Sigma(r_{2,t-1}) \Sigma(r_{1,t-1}) - \Sigma(r_{2,t-1} r_{1,t-1})}{\Sigma(r_{1,t-1})^2 - (\Sigma(r_{1,t-1}))^2} \right) \\ &= \frac{\Sigma(r_{1,t} r_{2,t-1}) - \Sigma(r_{2,t-1}) \Sigma(r_{1,t})}{\Sigma(r_{2,t-1})^2 - (\Sigma(r_{2,t-1}))^2} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& + \left( \frac{(\Sigma(r_{1,t-1}) \Sigma(r_{2,t-1}) - \Sigma(r_{1,t-1} r_{2,t-1})) (\Sigma(r_{1,t} r_{1,t-1}) - \Sigma(r_{1,t-1}) \Sigma(r_{1,t}))}{(\Sigma(r_{2,t-1})^2 - (\Sigma(r_{2,t-1}))^2) (\Sigma(r_{1,t-1})^2 - (\Sigma(r_{1,t-1}))^2)} \right) \\
& + \theta_{12} \left( \frac{(\Sigma(r_{1,t-1}) \Sigma(r_{2,t-1}) - \Sigma(r_{1,t-1} r_{2,t-1})) (\Sigma(r_{2,t-1}) \Sigma(r_{1,t-1}) - \Sigma(r_{2,t-1} r_{1,t-1}))}{(\Sigma(r_{2,t-1})^2 - (\Sigma(r_{2,t-1}))^2) (\Sigma(r_{1,t-1})^2 - (\Sigma(r_{1,t-1}))^2)} \right)
\end{aligned}$$

Parameter  $\theta_{12}$  diletakkan pada sebelah kiri

$$\begin{aligned}
& \theta_{12} - \theta_{12} \left( \frac{(\Sigma(r_{1,t-1}) \Sigma(r_{2,t-1}) - \Sigma(r_{1,t-1} r_{2,t-1}))^2}{(\Sigma(r_{2,t-1})^2 - (\Sigma(r_{2,t-1}))^2) (\Sigma(r_{1,t-1})^2 - (\Sigma(r_{1,t-1}))^2)} \right) \\
& \theta_{12} \left( 1 - \frac{(\Sigma(r_{1,t-1}) \Sigma(r_{2,t-1}) - \Sigma(r_{1,t-1} r_{2,t-1}))^2}{(\Sigma(r_{2,t-1})^2 - (\Sigma(r_{2,t-1}))^2) (\Sigma(r_{1,t-1})^2 - (\Sigma(r_{1,t-1}))^2)} \right) \\
& \theta_{12} \left( \frac{((\Sigma(r_{2,t-1})^2 - (\Sigma(r_{2,t-1}))^2) (\Sigma(r_{1,t-1})^2 - (\Sigma(r_{1,t-1}))^2) - ((\Sigma(r_{1,t-1}) \Sigma(r_{2,t-1}) - \Sigma(r_{1,t-1} r_{2,t-1}))^2)}{(\Sigma(r_{2,t-1})^2 - (\Sigma(r_{2,t-1}))^2) (\Sigma(r_{1,t-1})^2 - (\Sigma(r_{1,t-1}))^2)} \right)
\end{aligned}$$

Maka persamaan  $\theta_{12}$  menjadi

$$\begin{aligned}
\theta_{12} = & \frac{(\Sigma(r_{1,t} r_{2,t-1}) - \Sigma(r_{2,t-1}) \Sigma(r_{1,t})) (\Sigma(r_{1,t-1})^2 - (\Sigma(r_{1,t-1}))^2)}{(\Sigma(r_{2,t-1})^2 - (\Sigma(r_{2,t-1}))^2) (\Sigma(r_{1,t-1})^2 - (\Sigma(r_{1,t-1}))^2) (\Sigma(r_{1,t-1}) \Sigma(r_{2,t-1}) - \Sigma(r_{1,t-1} r_{2,t-1})) - ((\Sigma(r_{1,t-1}) \Sigma(r_{2,t-1}) - \Sigma(r_{1,t-1} r_{2,t-1}))^2)} \\
& + \left( \frac{(\Sigma(r_{1,t-1}) \Sigma(r_{2,t-1}) - \Sigma(r_{1,t-1} r_{2,t-1})) (\Sigma(r_{1,t} r_{1,t-1}) - \Sigma(r_{1,t-1}) \Sigma(r_{1,t}))}{(\Sigma(r_{2,t-1})^2 - (\Sigma(r_{2,t-1}))^2) (\Sigma(r_{1,t-1})^2 - (\Sigma(r_{1,t-1}))^2) - ((\Sigma(r_{1,t-1}) \Sigma(r_{2,t-1}) - \Sigma(r_{1,t-1} r_{2,t-1}))^2)} \right)
\end{aligned}$$

Dan persamaan  $\theta_{01}$  menjadi

$$\begin{aligned}
\theta_{01} & = \sum (r_{1,t}) - \theta_{11} \sum (r_{1,t-1}) - \theta_{12} \sum (r_{2,t-1}) \\
& = \sum (r_{1,t}) \\
& \quad - \frac{(\Sigma(r_{1,t} r_{2,t-1}) - \Sigma(r_{2,t-1}) \Sigma(r_{1,t})) (\Sigma(r_{1,t-1})^2 - (\Sigma(r_{1,t-1}))^2) \Sigma(r_{1,t-1})}{(\Sigma(r_{2,t-1})^2 - (\Sigma(r_{2,t-1}))^2) (\Sigma(r_{1,t-1})^2 - (\Sigma(r_{1,t-1}))^2) (\Sigma(r_{1,t-1}) \Sigma(r_{2,t-1}) - \Sigma(r_{1,t-1} r_{2,t-1})) - ((\Sigma(r_{1,t-1}) \Sigma(r_{2,t-1}) - \Sigma(r_{1,t-1} r_{2,t-1}))^2)} \\
& \quad - \left( \frac{(\Sigma(r_{1,t-1}) \Sigma(r_{2,t-1}) - \Sigma(r_{1,t-1} r_{2,t-1})) (\Sigma(r_{1,t} r_{1,t-1}) - \Sigma(r_{1,t-1}) \Sigma(r_{1,t})) \Sigma(r_{1,t-1})}{(\Sigma(r_{2,t-1})^2 - (\Sigma(r_{2,t-1}))^2) (\Sigma(r_{1,t-1})^2 - (\Sigma(r_{1,t-1}))^2) - ((\Sigma(r_{1,t-1}) \Sigma(r_{2,t-1}) - \Sigma(r_{1,t-1} r_{2,t-1}))^2)} \right) \\
& \quad - \frac{(\Sigma(r_{1,t} r_{2,t-1}) - \Sigma(r_{2,t-1}) \Sigma(r_{1,t})) (\Sigma(r_{1,t-1})^2 - (\Sigma(r_{1,t-1}))^2) \Sigma(r_{2,t-1})}{(\Sigma(r_{2,t-1})^2 - (\Sigma(r_{2,t-1}))^2) (\Sigma(r_{1,t-1})^2 - (\Sigma(r_{1,t-1}))^2) (\Sigma(r_{1,t-1}) \Sigma(r_{2,t-1}) - \Sigma(r_{1,t-1} r_{2,t-1})) - ((\Sigma(r_{1,t-1}) \Sigma(r_{2,t-1}) - \Sigma(r_{1,t-1} r_{2,t-1}))^2)} \\
& \quad - \left( \frac{(\Sigma(r_{1,t-1}) \Sigma(r_{2,t-1}) - \Sigma(r_{1,t-1} r_{2,t-1})) (\Sigma(r_{1,t} r_{1,t-1}) - \Sigma(r_{1,t-1}) \Sigma(r_{1,t})) \Sigma(r_{2,t-1})}{(\Sigma(r_{2,t-1})^2 - (\Sigma(r_{2,t-1}))^2) (\Sigma(r_{1,t-1})^2 - (\Sigma(r_{1,t-1}))^2) - ((\Sigma(r_{1,t-1}) \Sigma(r_{2,t-1}) - \Sigma(r_{1,t-1} r_{2,t-1}))^2)} \right)
\end{aligned}$$

Jadi persamaan  $\theta_{01}$ ,  $\theta_{11}$ , dan  $\theta_{12}$  adalah

$$\theta_{11} = \frac{(\Sigma(r_{1,t}r_{1,t-1}) - \Sigma(r_{1,t-1})\Sigma(r_{1,t}))(\Sigma(r_{2,t-1})^2 - (\Sigma(r_{2,t-1})))^2}{(\Sigma(r_{2,t-1})^2 - (\Sigma(r_{2,t-1})))^2)(\Sigma(r_{1,t-1})^2 - (\Sigma(r_{1,t-1})))^2 - ((\Sigma(r_{1,t-1})\Sigma(r_{2,t-1}) - \Sigma(r_{1,t-1}r_{2,t-1})))^2} + \left( \frac{(\Sigma(r_{1,t}r_{2,t-1}) - \Sigma(r_{2,t-1})\Sigma(r_{1,t}))(\Sigma(r_{2,t-1})\Sigma(r_{1,t-1}) - \Sigma(r_{2,t-1}r_{1,t-1}))}{(\Sigma(r_{2,t-1})^2 - (\Sigma(r_{2,t-1})))^2)(\Sigma(r_{1,t-1})^2 - (\Sigma(r_{1,t-1})))^2 - ((\Sigma(r_{1,t-1})\Sigma(r_{2,t-1}) - \Sigma(r_{1,t-1}r_{2,t-1})))^2} \right)$$

$$\theta_{12} = \frac{(\Sigma(r_{1,t}r_{2,t-1}) - \Sigma(r_{2,t-1})\Sigma(r_{1,t}))(\Sigma(r_{1,t})^2 - (\Sigma(r_{1,t})))^2}{(\Sigma(r_{2,t-1})^2 - (\Sigma(r_{2,t-1})))^2)(\Sigma(r_{1,t-1})^2 - (\Sigma(r_{1,t-1})))^2 - ((\Sigma(r_{1,t-1})\Sigma(r_{2,t-1}) - \Sigma(r_{1,t-1}r_{2,t-1})))^2} + \left( \frac{(\Sigma(r_{1,t-1})\Sigma(r_{2,t-1}) - \Sigma(r_{1,t-1}r_{2,t-1}))(\Sigma(r_{1,t}r_{1,t-1}) - \Sigma(r_{1,t-1})\Sigma(r_{1,t}))}{(\Sigma(r_{2,t-1})^2 - (\Sigma(r_{2,t-1})))^2)(\Sigma(r_{1,t-1})^2 - (\Sigma(r_{1,t-1})))^2 - ((\Sigma(r_{1,t-1})\Sigma(r_{2,t-1}) - \Sigma(r_{1,t-1}r_{2,t-1})))^2} \right)$$

$$\theta_{01} = \Sigma(r_{1,t}) - \frac{(\Sigma(r_{1,t}r_{2,t-1}) - \Sigma(r_{2,t-1})\Sigma(r_{1,t}))(\Sigma(r_{1,t})^2 - (\Sigma(r_{1,t})))^2 \Sigma(r_{1,t-1})}{(\Sigma(r_{2,t-1})^2 - (\Sigma(r_{2,t-1})))^2)(\Sigma(r_{1,t-1})^2 - (\Sigma(r_{1,t-1})))^2 - ((\Sigma(r_{1,t-1})\Sigma(r_{2,t-1}) - \Sigma(r_{1,t-1}r_{2,t-1})))^2} - \left( \frac{(\Sigma(r_{1,t-1})\Sigma(r_{2,t-1}) - \Sigma(r_{1,t-1}r_{2,t-1}))(\Sigma(r_{1,t}r_{1,t-1}) - \Sigma(r_{1,t-1})\Sigma(r_{1,t}))\Sigma(r_{1,t-1})}{(\Sigma(r_{2,t-1})^2 - (\Sigma(r_{2,t-1})))^2)(\Sigma(r_{1,t-1})^2 - (\Sigma(r_{1,t-1})))^2 - ((\Sigma(r_{1,t-1})\Sigma(r_{2,t-1}) - \Sigma(r_{1,t-1}r_{2,t-1})))^2} \right) - \frac{(\Sigma(r_{1,t}r_{2,t-1}) - \Sigma(r_{2,t-1})\Sigma(r_{1,t}))(\Sigma(r_{1,t})^2 - (\Sigma(r_{1,t})))^2 \Sigma(r_{2,t-1})}{(\Sigma(r_{2,t-1})^2 - (\Sigma(r_{2,t-1})))^2)(\Sigma(r_{1,t-1})^2 - (\Sigma(r_{1,t-1})))^2 - ((\Sigma(r_{1,t-1})\Sigma(r_{2,t-1}) - \Sigma(r_{1,t-1}r_{2,t-1})))^2}$$

Untuk persamaan  $r_{2,t} = \theta_{02} + \theta_{21}r_{1,t-1} + \theta_{22}r_{2,t-1} + \varepsilon_t$

$$S(\theta) = \sum \varepsilon_t^2 = \sum (r_{2,t} - \theta_{02} - \theta_{21}r_{1,t-1} - \theta_{22}r_{2,t-1})^2$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial S(\theta)}{\partial \theta_{02}} &= -2 \sum (r_{1,t} - \theta_{02} - \theta_{21}r_{1,t-1} - \theta_{22}r_{2,t-1}) \\ 0 &= \sum (r_{2,t} - \theta_{02} - \theta_{21}r_{1,t-1} - \theta_{22}r_{2,t-1}) \\ \theta_{02} &= \sum (r_{2,t} - \theta_{21}r_{1,t-1} - \theta_{22}r_{2,t-1}) \\ &= \sum (r_{2,t}) - \theta_{21} \sum (r_{2,t-1}) - \theta_{22} \sum (r_{2,t-1}) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial S(\theta)}{\partial \theta_{21}} &= -2(r_{1,t-1}) \sum (r_{1,t} - \theta_{02} - \theta_{21}r_{1,t-1} - \theta_{22}r_{2,t-1}) \\ 0 &= \sum (r_{2,t}r_{1,t-1} - \theta_{02}r_{1,t-1} - \theta_{21}r_{1,t-1}r_{1,t-1} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
&= \frac{-\theta_{22}r_{2,t-1}r_{1,t-1})}{\sum(r_{1,t-1})^2} \\
&= \frac{\sum(r_{2,t}r_{1,t-1}) - \theta_{02} \sum(r_{1,t-1}) - \theta_{21} \sum(r_{1,t-1}r_{1,t-1})}{\sum(r_{1,t-1})^2} \\
&= \frac{-\theta_{22} \sum(r_{2,t-1}r_{1,t-1})}{\sum(r_{1,t-1})^2} \\
\theta_{21} &= \frac{\sum(r_{1,t}r_{1,t-1}) - \theta_{02} \sum(r_{1,t-1}) - \theta_{22} \sum(r_{2,t-1}r_{1,t-1})}{\sum(r_{1,t-1})^2}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\frac{\partial S(\theta)}{\partial \theta_{22}} &= -2(r_{2,t-1}) \sum(r_{2,t} - \theta_{01} - \theta_{21}r_{1,t-1} - \theta_{22}r_{2,t-1}) \\
0 &= \sum(r_{2,t}r_{2,t-1} - \theta_{02}r_{2,t-1} - \theta_{21}r_{1,t-1}r_{2,t-1} \\
&\quad - \theta_{22}r_{2,t-1}r_{2,t-1}) \\
&= \sum(r_{1,t}r_{2,t-1}) - \theta_{02} \sum(r_{2,t-1}) - \theta_{22} \sum(r_{2,t-1})^2 \\
&\quad - \theta_{21} \sum(r_{1,t-1}r_{2,t-1}) \\
\theta_{22} \sum(r_{2,t-1})^2 &= \sum(r_{2,t}r_{2,t-1}) - \theta_{02} \sum(r_{2,t-1}) - \theta_{21} \sum(r_{1,t-1}r_{2,t-1}) \\
\theta_{22} &= \frac{\sum(r_{2,t}r_{2,t-1}) - \theta_{02} \sum(r_{2,t-1}) - \theta_{21} \sum(r_{1,t-1}r_{2,t-1})}{\sum(r_{2,t-1})^2}
\end{aligned}$$

Selanjutnya, didapatkan

$$\begin{aligned}
\theta_{02} &= \sum(r_{2,t}) - \theta_{21} \sum(r_{1,t-1}) - \theta_{22} \sum(r_{2,t-1}) \\
\theta_{21} &= \frac{\sum(r_{2,t}r_{1,t-1}) - \theta_{02} \sum(r_{1,t-1}) - \theta_{22} \sum(r_{2,t-1}r_{1,t-1})}{\sum(r_{1,t-1})^2} \\
\theta_{22} &= \frac{\sum(r_{2,t}r_{2,t-1}) - \theta_{02} \sum(r_{2,t-1}) - \theta_{21} \sum(r_{1,t-1}r_{2,t-1})}{\sum(r_{2,t-1})^2}
\end{aligned}$$

5. Substitusi  $\theta_{01}$  ke  $\theta_{11}$

$$\begin{aligned}
\theta_{21} &= \frac{\sum(r_{2,t}r_{1,t-1}) - \theta_{02} \sum(r_{1,t-1}) - \theta_{22} \sum(r_{2,t-1}r_{1,t-1})}{\sum(r_{1,t-1})^2} \\
&= \frac{\sum(r_{2,t}r_{1,t-1})}{\sum(r_{2,t-1})^2} - \theta_{02} \frac{\sum(r_{1,t-1})}{\sum(r_{1,t-1})^2} - \theta_{22} \frac{\sum(r_{2,t-1}r_{1,t-1})}{\sum(r_{1,t-1})^2} \\
&= \frac{\sum(r_{2,t}r_{1,t-1}) - \theta_{22} \sum(r_{2,t-1}r_{1,t-1})}{\sum(r_{1,t-1})^2}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& - \left( \sum (r_{2,t}) - \theta_{21} \sum (r_{1,t-1}) - \theta_{22} \sum (r_{2,t-1}) \right) \left( \frac{\sum (r_{1,t-1})}{\sum (r_{1,t-1})^2} \right) \\
& = \frac{\sum (r_{2,t} r_{1,t-1}) - \theta_{22} \sum (r_{2,t-1} r_{1,t-1})}{\sum (r_{1,t-1})^2} + \frac{\theta_{22} \sum (r_{2,t-1}) \sum (r_{1,t-1})}{\sum (r_{1,t-1})^2} \\
& \quad - \frac{\sum (r_{1,t-1}) \sum (r_{2,t})}{\sum (r_{1,t-1})^2} + \theta_{21} \frac{\sum (r_{1,t-1}) \sum (r_{1,t-1})}{\sum (r_{1,t-1})^2} \\
& = \frac{\sum (r_{2,t} r_{1,t-1}) - \sum (r_{1,t-1}) \sum (r_{2,t})}{\sum (r_{1,t-1})^2} \\
& \quad + \theta_{22} \left( \frac{\sum (r_{2,t-1}) \sum (r_{1,t-1}) - \sum (r_{2,t-1} r_{1,t-1})}{\sum (r_{1,t-1})^2} \right) \\
& \quad + \theta_{21} \frac{(\sum (r_{1,t-1}))^2}{\sum (r_{1,t-1})^2}
\end{aligned}$$

Parameter  $\theta_{21}$  diletakkan pada sebelah kiri

$$\begin{aligned}
\theta_{21} & = \frac{\sum (r_{2,t} r_{1,t-1}) - \sum (r_{1,t-1}) \sum (r_{2,t})}{\sum (r_{1,t-1})^2} \\
- \theta_{21} \frac{(\sum (r_{1,t-1}))^2}{\sum (r_{1,t-1})^2} & \quad + \theta_{22} \left( \frac{\sum (r_{2,t-1}) \sum (r_{1,t-1}) - \sum (r_{2,t-1} r_{1,t-1})}{\sum (r_{1,t-1})^2} \right) \\
\theta_{21} \left( 1 - \frac{(\sum (r_{1,t-1}))^2}{\sum (r_{1,t-1})^2} \right) & = \frac{\sum (r_{2,t} r_{1,t-1}) - \sum (r_{1,t-1}) \sum (r_{2,t})}{\sum (r_{1,t-1})^2} \\
& \quad + \theta_{22} \left( \frac{\sum (r_{2,t-1}) \sum (r_{1,t-1}) - \sum (r_{2,t-1} r_{1,t-1})}{\sum (r_{1,t-1})^2} \right) \\
\left( \frac{\theta_{21}}{\sum (r_{1,t-1})^2 - (\sum (r_{1,t-1}))^2} \right) & = \frac{\sum (r_{2,t} r_{1,t-1}) - \sum (r_{1,t-1}) \sum (r_{2,t})}{\sum (r_{1,t-1})^2} \\
& \quad + \theta_{22} \left( \frac{\sum (r_{2,t-1}) \sum (r_{1,t-1}) - \sum (r_{2,t-1} r_{1,t-1})}{\sum (r_{1,t-1})^2} \right) \\
\theta_{21} & = \frac{\sum (r_{2,t} r_{1,t-1}) - \sum (r_{1,t-1}) \sum (r_{2,t})}{\sum (r_{1,t-1})^2 - (\sum (r_{1,t-1}))^2}
\end{aligned}$$

$$+\theta_{22} \left( \frac{\Sigma(r_{2,t-1}) \Sigma(r_{1,t-1}) - \Sigma(r_{2,t-1} r_{1,t-1})}{\Sigma(r_{1,t-1})^2 - (\Sigma(r_{1,t-1}))^2} \right)$$

6. Substitusi  $\theta_{02}$  ke  $\theta_{22}$

$$\begin{aligned} \theta_{22} &= \frac{\Sigma(r_{2,t} r_{2,t-1}) - \theta_{02} \Sigma(r_{2,t-1}) - \theta_{21} \Sigma(r_{1,t-1} r_{2,t-1})}{\Sigma(r_{2,t-1})^2} \\ &= \frac{\Sigma(r_{2,t} r_{2,t-1}) - \theta_{21} \Sigma(r_{1,t-1} r_{2,t-1})}{\Sigma(r_{2,t-1})^2} - \theta_{01} \frac{\Sigma(r_{2,t-1})}{\Sigma(r_{2,t-1})^2} \\ &= \frac{\Sigma(r_{2,t} r_{2,t-1}) - \theta_{21} \Sigma(r_{1,t-1} r_{2,t-1})}{\Sigma(r_{2,t-1})^2} \\ &\quad - \left( \Sigma(r_{2,t}) - \theta_{21} \Sigma(r_{1,t-1}) - \theta_{22} \Sigma(r_{2,t-1}) \right) \frac{\Sigma(r_{2,t-1})}{\Sigma(r_{2,t-1})^2} \\ &= \frac{\Sigma(r_{2,t} r_{2,t-1}) - \theta_{21} \Sigma(r_{1,t-1} r_{2,t-1})}{\Sigma(r_{2,t-1})^2} \\ &\quad - \frac{\Sigma(r_{2,t-1}) \Sigma(r_{2,t}) + \theta_{21} \Sigma(r_{1,t-1}) \Sigma(r_{2,t-1})}{\Sigma(r_{2,t-1})^2} \\ &\quad + \theta_{22} \frac{\Sigma(r_{2,t-1}) \Sigma(r_{2,t-1})}{\Sigma(r_{2,t-1})^2} \\ &= \frac{\Sigma(r_{2,t} r_{2,t-1}) - \Sigma(r_{2,t-1}) \Sigma(r_{2,t})}{\Sigma(r_{2,t-1})^2} \\ &\quad + \theta_{21} \left( \frac{\Sigma(r_{1,t-1}) \Sigma(r_{2,t-1}) - \Sigma(r_{1,t-1} r_{2,t-1})}{\Sigma(r_{2,t-1})^2} \right) \\ &\quad + \theta_{22} \frac{(\Sigma(r_{2,t-1}))^2}{\Sigma(r_{2,t-1})^2} \end{aligned}$$

Parameter  $\theta_{22}$  diletakkan pada sebelah kiri

$$\begin{aligned} \theta_{22} - \theta_{22} \frac{(\Sigma(r_{2,t-1}))^2}{\Sigma(r_{2,t-1})^2} &= \frac{\Sigma(r_{2,t} r_{2,t-1}) - \Sigma(r_{2,t-1}) \Sigma(r_{2,t})}{\Sigma(r_{2,t-1})^2} \\ &\quad + \theta_{21} \left( \frac{\Sigma(r_{1,t-1}) \Sigma(r_{2,t-1}) - \Sigma(r_{1,t-1} r_{2,t-1})}{\Sigma(r_{2,t-1})^2} \right) \end{aligned}$$



$$\begin{aligned}
\theta_{22} \left( 1 - \frac{(\Sigma(r_{2,t-1}))^2}{\Sigma(r_{2,t-1})^2} \right) &= \frac{\Sigma(r_{2,t}r_{2,t-1}) - \Sigma(r_{2,t-1})\Sigma(r_{2,t})}{\Sigma(r_{2,t-1})^2} \\
&\quad + \theta_{21} \left( \frac{\Sigma(r_{1,t-1})\Sigma(r_{2,t-1}) - \Sigma(r_{1,t-1}r_{2,t-1})}{\Sigma(r_{2,t-1})^2} \right) \\
\theta_{22} &= \frac{\Sigma(r_{2,t}r_{2,t-1}) - \Sigma(r_{2,t-1})\Sigma(r_{2,t})}{\Sigma(r_{2,t-1})^2} \\
&\quad + \theta_{21} \left( \frac{\Sigma(r_{1,t-1})\Sigma(r_{2,t-1}) - \Sigma(r_{1,t-1}r_{2,t-1})}{\Sigma(r_{2,t-1})^2} \right) \\
\theta_{22} &= \frac{\Sigma(r_{2,t}r_{2,t-1}) - \Sigma(r_{2,t-1})\Sigma(r_{2,t})}{\Sigma(r_{2,t-1})^2 - (\Sigma(r_{2,t-1}))^2} \\
&\quad + \theta_{21} \left( \frac{\Sigma(r_{1,t-1})\Sigma(r_{2,t-1}) - \Sigma(r_{1,t-1}r_{2,t-1})}{\Sigma(r_{2,t-1})^2 - (\Sigma(r_{2,t-1}))^2} \right)
\end{aligned}$$

Maka persamaan  $\theta_{21}$  dan  $\theta_{22}$  menjadi

$$\begin{aligned}
\theta_{21} &= \frac{\Sigma(r_{2,t}r_{1,t-1}) - \Sigma(r_{1,t-1})\Sigma(r_{2,t})}{\Sigma(r_{1,t-1})^2 - (\Sigma(r_{1,t-1}))^2} \\
&\quad + \theta_{22} \left( \frac{\Sigma(r_{2,t-1})\Sigma(r_{1,t-1}) - \Sigma(r_{2,t-1}r_{1,t-1})}{\Sigma(r_{1,t-1})^2 - (\Sigma(r_{1,t-1}))^2} \right) \\
\theta_{22} &= \frac{\Sigma(r_{2,t}r_{2,t-1}) - \Sigma(r_{2,t-1})\Sigma(r_{2,t})}{\Sigma(r_{2,t-1})^2 - (\Sigma(r_{2,t-1}))^2} \\
&\quad + \theta_{21} \left( \frac{\Sigma(r_{1,t-1})\Sigma(r_{2,t-1}) - \Sigma(r_{1,t-1}r_{2,t-1})}{\Sigma(r_{2,t-1})^2 - (\Sigma(r_{2,t-1}))^2} \right)
\end{aligned}$$

7. Subtitusi  $\theta_{22}$  ke  $\theta_{21}$

$$\begin{aligned}
\theta_{21} &= \frac{\Sigma(r_{2,t}r_{1,t-1}) - \Sigma(r_{1,t-1})\Sigma(r_{2,t})}{\Sigma(r_{1,t-1})^2 - (\Sigma(r_{1,t-1}))^2} \\
&\quad + \left( \frac{\Sigma(r_{2,t}r_{2,t-1}) - \Sigma(r_{2,t-1})\Sigma(r_{2,t})}{\Sigma(r_{2,t-1})^2 - (\Sigma(r_{2,t-1}))^2} \right) \left( \frac{\Sigma(r_{2,t-1})\Sigma(r_{1,t-1}) - \Sigma(r_{2,t-1}r_{1,t-1})}{\Sigma(r_{1,t-1})^2 - (\Sigma(r_{1,t-1}))^2} \right)
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& +\theta_{21}\left(\frac{(\Sigma(r_{1,t-1})\Sigma(r_{2,t-1})-\Sigma(r_{1,t-1}r_{2,t-1}))}{\Sigma(r_{2,t-1})^2-(\Sigma(r_{2,t-1}))^2}\right)\left(\frac{(\Sigma(r_{2,t-1})\Sigma(r_{1,t-1})-\Sigma(r_{2,t-1}r_{1,t-1}))}{\Sigma(r_{1,t-1})^2-(\Sigma(r_{1,t-1}))^2}\right) \\
= & \frac{\Sigma(r_{2,t}r_{1,t-1})-\Sigma(r_{1,t-1})\Sigma(r_{2,t})}{\Sigma(r_{1,t-1})^2-(\Sigma(r_{1,t-1}))^2} \\
& +\left(\frac{(\Sigma(r_{1,t}r_{2,t-1})-\Sigma(r_{2,t-1})\Sigma(r_{2,t}))(\Sigma(r_{2,t-1})\Sigma(r_{1,t-1})-\Sigma(r_{2,t-1}r_{1,t-1}))}{(\Sigma(r_{2,t-1})^2-(\Sigma(r_{2,t-1}))^2)(\Sigma(r_{1,t-1})^2-(\Sigma(r_{1,t-1}))^2)}\right) \\
& +\theta_{21}\left(\frac{(\Sigma(r_{1,t-1})\Sigma(r_{2,t-1})-\Sigma(r_{1,t-1}r_{2,t-1}))^2}{(\Sigma(r_{2,t-1})^2-(\Sigma(r_{2,t-1}))^2)(\Sigma(r_{1,t-1})^2-(\Sigma(r_{1,t-1}))^2)}\right)
\end{aligned}$$

Parameter  $\theta_{21}$  diletakkan pada sebelah kiri

$$\begin{aligned}
\theta_{21} - \theta_{21} & \left(\frac{(\Sigma(r_{1,t-1})\Sigma(r_{2,t-1})-\Sigma(r_{1,t-1}r_{2,t-1}))^2}{(\Sigma(r_{2,t-1})^2-(\Sigma(r_{2,t-1}))^2)(\Sigma(r_{1,t-1})^2-(\Sigma(r_{1,t-1}))^2)}\right) \\
= & \theta_{21} \left(1 - \frac{(\Sigma(r_{1,t-1})\Sigma(r_{2,t-1})-\Sigma(r_{1,t-1}r_{2,t-1}))^2}{(\Sigma(r_{2,t-1})^2-(\Sigma(r_{2,t-1}))^2)(\Sigma(r_{1,t-1})^2-(\Sigma(r_{1,t-1}))^2)}\right) \\
= & \theta_{21} \left(\frac{(\Sigma(r_{2,t-1})^2-(\Sigma(r_{2,t-1}))^2)(\Sigma(r_{1,t-1})^2-(\Sigma(r_{1,t-1}))^2) - ((\Sigma(r_{1,t-1})\Sigma(r_{2,t-1})-\Sigma(r_{1,t-1}r_{2,t-1}))^2)}{(\Sigma(r_{2,t-1})^2-(\Sigma(r_{2,t-1}))^2)(\Sigma(r_{1,t-1})^2-(\Sigma(r_{1,t-1}))^2)}\right)
\end{aligned}$$

Maka persamaan  $\theta_{21}$  menjadi

$$\begin{aligned}
\theta_{21} = & \frac{(\Sigma(r_{2,t}r_{1,t-1})-\Sigma(r_{1,t-1})\Sigma(r_{2,t}))(\Sigma(r_{2,t-1})^2-(\Sigma(r_{2,t-1}))^2)}{(\Sigma(r_{2,t-1})^2-(\Sigma(r_{2,t-1}))^2)(\Sigma(r_{1,t-1})^2-(\Sigma(r_{1,t-1}))^2) - ((\Sigma(r_{1,t-1})\Sigma(r_{2,t-1})-\Sigma(r_{1,t-1}r_{2,t-1}))^2)} \\
& + \left(\frac{(\Sigma(r_{2,t}r_{2,t-1})-\Sigma(r_{2,t-1})\Sigma(r_{2,t}))(\Sigma(r_{2,t-1})\Sigma(r_{1,t-1})-\Sigma(r_{2,t-1}r_{1,t-1}))}{(\Sigma(r_{2,t-1})^2-(\Sigma(r_{2,t-1}))^2)(\Sigma(r_{1,t-1})^2-(\Sigma(r_{1,t-1}))^2) - ((\Sigma(r_{1,t-1})\Sigma(r_{2,t-1})-\Sigma(r_{1,t-1}r_{2,t-1}))^2)}\right)
\end{aligned}$$

8. Substitusi  $\theta_{21}$  ke  $\theta_{22}$

$$\begin{aligned}
\theta_{22} = & \frac{\Sigma(r_{2,t}r_{2,t-1})-\Sigma(r_{2,t-1})\Sigma(r_{2,t})}{\Sigma(r_{2,t-1})^2-(\Sigma(r_{2,t-1}))^2} \\
& +\theta_{21}\left(\frac{(\Sigma(r_{1,t-1})\Sigma(r_{2,t-1})-\Sigma(r_{1,t-1}r_{2,t-1}))}{\Sigma(r_{2,t-1})^2-(\Sigma(r_{2,t-1}))^2}\right) \\
= & \frac{\Sigma(r_{2,t}r_{2,t-1})-\Sigma(r_{2,t-1})\Sigma(r_{2,t})}{\Sigma(r_{2,t-1})^2-(\Sigma(r_{2,t-1}))^2}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& + \left( \frac{\Sigma(r_{1,t-1})\Sigma(r_{2,t-1}) - \Sigma(r_{1,t-1}r_{2,t-1})}{\Sigma(r_{2,t-1})^2 - (\Sigma(r_{2,t-1}))^2} \right) \left( \frac{(\Sigma(r_{2,t}r_{1,t-1}) - \Sigma(r_{1,t-1})\Sigma(r_{2,t}))}{\Sigma(r_{1,t-1})^2 - (\Sigma(r_{1,t-1}))^2} \right) \\
& + \left( \frac{\Sigma(r_{1,t-1})\Sigma(r_{2,t-1}) - \Sigma(r_{1,t-1}r_{2,t-1})}{\Sigma(r_{2,t-1})^2 - (\Sigma(r_{2,t-1}))^2} \right) \theta_{12} \left( \frac{\Sigma(r_{2,t-1})\Sigma(r_{1,t-1}) - \Sigma(r_{2,t-1}r_{1,t-1})}{\Sigma(r_{1,t-1})^2 - (\Sigma(r_{1,t-1}))^2} \right) \\
= & \frac{\Sigma(r_{2,t}r_{2,t-1}) - \Sigma(r_{2,t-1})\Sigma(r_{2,t})}{\Sigma(r_{2,t-1})^2 - (\Sigma(r_{2,t-1}))^2} \\
& + \left( \frac{(\Sigma(r_{1,t-1})\Sigma(r_{2,t-1}) - \Sigma(r_{1,t-1}r_{2,t-1}))(\Sigma(r_{1,t}r_{1,t-1}) - \Sigma(r_{1,t-1})\Sigma(r_{2,t}))}{(\Sigma(r_{2,t-1})^2 - (\Sigma(r_{2,t-1}))^2)(\Sigma(r_{1,t-1})^2 - (\Sigma(r_{1,t-1}))^2)} \right) \\
& + \theta_{22} \left( \frac{(\Sigma(r_{1,t-1})\Sigma(r_{2,t-1}) - \Sigma(r_{1,t-1}r_{2,t-1}))(\Sigma(r_{2,t-1})\Sigma(r_{1,t-1}) - \Sigma(r_{2,t-1}r_{1,t-1}))}{(\Sigma(r_{2,t-1})^2 - (\Sigma(r_{2,t-1}))^2)(\Sigma(r_{1,t-1})^2 - (\Sigma(r_{1,t-1}))^2)} \right)
\end{aligned}$$

Parameter  $\theta_{12}$  diletakkan pada sebelah kiri

$$\begin{aligned}
& \theta_{22} - \theta_{22} \left( \frac{(\Sigma(r_{1,t-1})\Sigma(r_{2,t-1}) - \Sigma(r_{1,t-1}r_{2,t-1}))^2}{(\Sigma(r_{2,t-1})^2 - (\Sigma(r_{2,t-1}))^2)(\Sigma(r_{1,t-1})^2 - (\Sigma(r_{1,t-1}))^2)} \right) \\
& \theta_{22} \left( 1 - \frac{(\Sigma(r_{1,t-1})\Sigma(r_{2,t-1}) - \Sigma(r_{1,t-1}r_{2,t-1}))^2}{(\Sigma(r_{2,t-1})^2 - (\Sigma(r_{2,t-1}))^2)(\Sigma(r_{1,t-1})^2 - (\Sigma(r_{1,t-1}))^2)} \right) \\
& \theta_{22} \left( \frac{(\Sigma(r_{2,t-1})^2 - (\Sigma(r_{2,t-1}))^2)(\Sigma(r_{1,t-1})^2 - (\Sigma(r_{1,t-1}))^2) - (\Sigma(r_{1,t-1})\Sigma(r_{2,t-1}) - \Sigma(r_{1,t-1}r_{2,t-1}))^2}{(\Sigma(r_{2,t-1})^2 - (\Sigma(r_{2,t-1}))^2)(\Sigma(r_{1,t-1})^2 - (\Sigma(r_{1,t-1}))^2)} \right)
\end{aligned}$$

Maka persamaan  $\theta_{12}$  menjadi

$$\begin{aligned}
\theta_{12} = & \frac{(\Sigma(r_{2,t}r_{2,t-1}) - \Sigma(r_{2,t-1})\Sigma(r_{2,t}))(\Sigma(r_{1,t-1})^2 - (\Sigma(r_{1,t-1}))^2)}{(\Sigma(r_{2,t-1})^2 - (\Sigma(r_{2,t-1}))^2)(\Sigma(r_{1,t-1})^2 - (\Sigma(r_{1,t-1}))^2)(\Sigma(r_{1,t-1})^2 - (\Sigma(r_{1,t-1}))^2) - ((\Sigma(r_{1,t-1})\Sigma(r_{2,t-1}) - \Sigma(r_{1,t-1}r_{2,t-1}))^2)} \\
& + \left( \frac{(\Sigma(r_{1,t-1})\Sigma(r_{2,t-1}) - \Sigma(r_{1,t-1}r_{2,t-1}))(\Sigma(r_{2,t}r_{1,t-1}) - \Sigma(r_{1,t-1})\Sigma(r_{2,t}))}{(\Sigma(r_{2,t-1})^2 - (\Sigma(r_{2,t-1}))^2)(\Sigma(r_{1,t-1})^2 - (\Sigma(r_{1,t-1}))^2) - (\Sigma(r_{1,t-1})\Sigma(r_{2,t-1}) - \Sigma(r_{1,t-1}r_{2,t-1}))^2} \right)
\end{aligned}$$

Dan persamaan  $\theta_{02}$  menjadi

$$\begin{aligned}
\theta_{02} & = \sum (r_{2,t}) - \theta_{21} \sum (r_{1,t-1}) - \theta_{22} \sum (r_{2,t-1}) \\
& = \sum (r_{2,t}) \\
& \quad - \frac{(\Sigma(r_{2,t}r_{2,t-1}) - \Sigma(r_{2,t-1})\Sigma(r_{2,t}))(\Sigma(r_{1,t-1})^2 - (\Sigma(r_{1,t-1}))^2)\Sigma(r_{1,t-1})}{(\Sigma(r_{2,t-1})^2 - (\Sigma(r_{2,t-1}))^2)(\Sigma(r_{1,t-1})^2 - (\Sigma(r_{1,t-1}))^2)(\Sigma(r_{1,t-1})^2 - (\Sigma(r_{1,t-1}))^2) - ((\Sigma(r_{1,t-1})\Sigma(r_{2,t-1}) - \Sigma(r_{1,t-1}r_{2,t-1}))^2)}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& - \left( \frac{(\Sigma(r_{1,t-1})\Sigma(r_{2,t-1}) - \Sigma(r_{1,t-1}r_{2,t-1}))(\Sigma(r_{1,t}r_{1,t-1}) - \Sigma(r_{1,t-1})\Sigma(r_{1,t}))\Sigma(r_{1,t-1})}{(\Sigma(r_{2,t-1})^2 - (\Sigma(r_{2,t-1}))^2)(\Sigma(r_{1,t-1})^2 - (\Sigma(r_{1,t-1}))^2) - ((\Sigma(r_{1,t-1})\Sigma(r_{2,t-1}) - \Sigma(r_{1,t-1}r_{2,t-1}))^2)} \right) \\
& - \frac{(\Sigma(r_{2,t}r_{2,t-1}) - \Sigma(r_{2,t-1})\Sigma(r_{2,t}))(\Sigma(r_{1,t-1})^2 - (\Sigma(r_{1,t-1}))^2)\Sigma(r_{2,t-1})}{(\Sigma(r_{2,t-1})^2 - (\Sigma(r_{2,t-1}))^2)(\Sigma(r_{1,t-1})^2 - (\Sigma(r_{1,t-1}))^2) - ((\Sigma(r_{1,t-1})\Sigma(r_{2,t-1}) - \Sigma(r_{1,t-1}r_{2,t-1}))^2)} \\
& - \left( \frac{(\Sigma(r_{1,t-1})\Sigma(r_{2,t-1}) - \Sigma(r_{1,t-1}r_{2,t-1}))(\Sigma(r_{1,t}r_{1,t-1}) - \Sigma(r_{1,t-1})\Sigma(r_{1,t}))\Sigma(r_{2,t-1})}{(\Sigma(r_{2,t-1})^2 - (\Sigma(r_{2,t-1}))^2)(\Sigma(r_{1,t-1})^2 - (\Sigma(r_{1,t-1}))^2) - ((\Sigma(r_{1,t-1})\Sigma(r_{2,t-1}) - \Sigma(r_{1,t-1}r_{2,t-1}))^2)} \right)
\end{aligned}$$

Jadi persamaan  $\theta_{01}$ ,  $\theta_{11}$ , dan  $\theta_{12}$  adalah

$$\begin{aligned}
\theta_{21} = & \frac{(\Sigma(r_{2,t}r_{1,t-1}) - \Sigma(r_{1,t-1})\Sigma(r_{2,t}))(\Sigma(r_{2,t-1})^2 - (\Sigma(r_{2,t-1}))^2)}{(\Sigma(r_{2,t-1})^2 - (\Sigma(r_{2,t-1}))^2)(\Sigma(r_{1,t-1})^2 - (\Sigma(r_{1,t-1}))^2) - ((\Sigma(r_{1,t-1})\Sigma(r_{2,t-1}) - \Sigma(r_{1,t-1}r_{2,t-1}))^2)} \\
& + \left( \frac{(\Sigma(r_{2,t}r_{2,t-1}) - \Sigma(r_{2,t-1})\Sigma(r_{2,t}))(\Sigma(r_{2,t-1})\Sigma(r_{1,t-1}) - \Sigma(r_{2,t-1}r_{1,t-1}))}{(\Sigma(r_{2,t-1})^2 - (\Sigma(r_{2,t-1}))^2)(\Sigma(r_{1,t-1})^2 - (\Sigma(r_{1,t-1}))^2) - ((\Sigma(r_{1,t-1})\Sigma(r_{2,t-1}) - \Sigma(r_{1,t-1}r_{2,t-1}))^2)} \right)
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\theta_{22} = & \frac{(\Sigma(r_{1,t}r_{2,t-1}) - \Sigma(r_{2,t-1})\Sigma(r_{2,t}))(\Sigma(r_{1,t-1})^2 - (\Sigma(r_{1,t-1}))^2)}{(\Sigma(r_{2,t-1})^2 - (\Sigma(r_{2,t-1}))^2)(\Sigma(r_{1,t-1})^2 - (\Sigma(r_{1,t-1}))^2) - ((\Sigma(r_{1,t-1})\Sigma(r_{2,t-1}) - \Sigma(r_{1,t-1}r_{2,t-1}))^2)} \\
& + \left( \frac{(\Sigma(r_{1,t-1})\Sigma(r_{2,t-1}) - \Sigma(r_{1,t-1}r_{2,t-1}))(\Sigma(r_{2,t}r_{1,t-1}) - \Sigma(r_{1,t-1})\Sigma(r_{2,t}))}{(\Sigma(r_{2,t-1})^2 - (\Sigma(r_{2,t-1}))^2)(\Sigma(r_{1,t-1})^2 - (\Sigma(r_{1,t-1}))^2) - ((\Sigma(r_{1,t-1})\Sigma(r_{2,t-1}) - \Sigma(r_{1,t-1}r_{2,t-1}))^2)} \right)
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\theta_{02} = & \sum (r_{2,t}) \\
& - \frac{(\Sigma(r_{2,t}r_{2,t-1}) - \Sigma(r_{2,t-1})\Sigma(r_{2,t}))(\Sigma(r_{1,t-1})^2 - (\Sigma(r_{1,t-1}))^2)\Sigma(r_{1,t-1})}{(\Sigma(r_{2,t-1})^2 - (\Sigma(r_{2,t-1}))^2)(\Sigma(r_{1,t-1})^2 - (\Sigma(r_{1,t-1}))^2) - ((\Sigma(r_{1,t-1})\Sigma(r_{2,t-1}) - \Sigma(r_{1,t-1}r_{2,t-1}))^2)} \\
& - \left( \frac{(\Sigma(r_{1,t-1})\Sigma(r_{2,t-1}) - \Sigma(r_{1,t-1}r_{2,t-1}))(\Sigma(r_{1,t}r_{1,t-1}) - \Sigma(r_{1,t-1})\Sigma(r_{1,t}))\Sigma(r_{1,t-1})}{(\Sigma(r_{2,t-1})^2 - (\Sigma(r_{2,t-1}))^2)(\Sigma(r_{1,t-1})^2 - (\Sigma(r_{1,t-1}))^2) - ((\Sigma(r_{1,t-1})\Sigma(r_{2,t-1}) - \Sigma(r_{1,t-1}r_{2,t-1}))^2)} \right) \\
& - \frac{(\Sigma(r_{2,t}r_{2,t-1}) - \Sigma(r_{2,t-1})\Sigma(r_{2,t}))(\Sigma(r_{1,t-1})^2 - (\Sigma(r_{1,t-1}))^2)\Sigma(r_{2,t-1})}{(\Sigma(r_{2,t-1})^2 - (\Sigma(r_{2,t-1}))^2)(\Sigma(r_{1,t-1})^2 - (\Sigma(r_{1,t-1}))^2) - ((\Sigma(r_{1,t-1})\Sigma(r_{2,t-1}) - \Sigma(r_{1,t-1}r_{2,t-1}))^2)}
\end{aligned}$$



## LAMPIRAN L

### Impulse Response

Pertama, akan dihitung impulse response untuk proses AR(1)

$$r_t = \theta r_{t-1} + \varepsilon_t$$

Dengan  $E[r_t] = 0$ ,  $E[\varepsilon_t] = 0$ , dan  $Var[\varepsilon_t] = \sigma^2$ .  
ekpektasi pada waktu ke-t pada  $r_{t+1}$  adalah

$$\begin{aligned} E_t[r_{t+1}] &= E_t[\theta r_t + \varepsilon_t] \\ &= \theta r_t \end{aligned}$$

Dan untuk ekspektasi waktu ke-t pada  $r_{t+2}$

$$\begin{aligned} E_t[r_{t+2}] &= E_t[\theta r_{t+1} + \varepsilon_t] \\ &= E_t[\theta(\theta r_t + \varepsilon_t) + \varepsilon_t] \\ &= \theta^2 r_t \end{aligned}$$

ekspektasi waktu ke-t pada  $r_{t+3}$

$$\begin{aligned} E_t[r_{t+3}] &= E_t[\theta r_{t+2} + \varepsilon_t] \\ &= E_t[\theta(\theta(\theta r_t + \varepsilon_t) + \varepsilon_t) + \varepsilon_t] \\ &= \theta^3 r_t \end{aligned}$$

Secara umum, ekpektasi pada  $r_{t+h}$  dapat ditulis menjadi

$$E_t[r_{t+h}] = \theta^h r_t$$

Fungsi impulse respon pada proses AR(1) adalah

$$Imp(h) = \theta^h \sigma$$

Impulse response juga disebut dengan koefisien dari representasi moving average pada time series, maka persamaannya juga dapat ditulis menjadi

$$\begin{aligned} r_t &= \theta r_{t-1} + \varepsilon_t \\ \varepsilon_t &= r_t - \theta r_{t-1} \end{aligned}$$

Dengan  $\gamma$  adalah operator pada lag maka

$$\begin{aligned} \varepsilon_t &= r_t - \theta r_{t-1} \\ &= (1 - \theta\gamma)r_t \\ r_t &= \left( \frac{1}{1 - \gamma} \right) \varepsilon_t \end{aligned}$$

Kita tahu bahwa  $\left(\frac{1}{1-\gamma}\right) = \sum_{h=0}^{\infty} \gamma^h$  maka persamaan diatas menjadi

$$\begin{aligned} r_t &= \sum_{h=0}^{\infty} \gamma^h \varepsilon_{t-h} \\ r_t &= \sum_{h=0}^{\infty} \gamma^h \frac{\sigma}{\sigma} \varepsilon_{t-h} \\ &= \sum_{h=0}^{\infty} Imp(h) \frac{\varepsilon_{t-h}}{\sigma} \end{aligned}$$

Model VAR yang digunakan pada Tugas Akhir ini adalah

$$\begin{aligned} r_{1,t} &= \theta_{11}r_{1,t-1} + \theta_{12}r_{2,t-1} + \varepsilon_t \\ r_{2,t} &= \theta_{21}r_{1,t-1} + \theta_{22}r_{2,t-1} + \varepsilon_t \end{aligned}$$

Persamaan diatas dapat ditulis sebagai matriks, yaitu

$$\begin{bmatrix} r_{1,t} \\ r_{2,t} \end{bmatrix} = \begin{pmatrix} \theta_{01} \\ \theta_{02} \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} \theta_{11} & \theta_{12} \\ \theta_{21} & \theta_{22} \end{pmatrix} \begin{bmatrix} r_{1,t-1} \\ r_{2,t-1} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \varepsilon_{1,t} \\ \varepsilon_{2,t} \end{bmatrix}$$

Dengan

$$\begin{aligned} r_t &= \begin{bmatrix} r_{1,t} \\ r_{2,t} \end{bmatrix} \\ \theta &= \begin{pmatrix} \theta_{11} & \theta_{12} \\ \theta_{21} & \theta_{22} \end{pmatrix} \\ r_t &= \begin{bmatrix} r_{1,t-1} \\ r_{2,t-1} \end{bmatrix} \\ \varepsilon_t &= \begin{bmatrix} \varepsilon_{1,t} \\ \varepsilon_{2,t} \end{bmatrix} \end{aligned}$$

Singkatnya, persamaan diatas dapat ditulis

$$\mathbf{r}_t = \sum_{h=0}^{\infty} \theta^h \boldsymbol{\varepsilon}_{t-h}$$

Dengan  $E[\boldsymbol{\varepsilon}_t] = 0$  dan  $E[\varepsilon_t \varepsilon_t'] = \boldsymbol{\Omega}$ .  $\boldsymbol{\Omega}$  adalah dekomposisi cholesky

$$\boldsymbol{\Omega} = \begin{pmatrix} \sigma_x^2 & \rho\sigma_x\sigma_y \\ \rho\sigma_x\sigma_y & \sigma_y^2 \end{pmatrix}$$

$$\begin{aligned}
&= \begin{pmatrix} \sigma_x^2 & \rho\sigma_x\sigma_y \\ \rho\sigma_x\sigma_y & \sigma_y^2 + (\rho^2\sigma_y^2 - \rho^2\sigma_y^2) \end{pmatrix} \\
&= \begin{pmatrix} \sigma_x^2 & \rho\sigma_x\sigma_y \\ \rho\sigma_x\sigma_y & \rho^2\sigma_y^2 + (\sigma_y^2 - \rho^2\sigma_y^2) \end{pmatrix} \\
&= \begin{pmatrix} \sigma_x^2 & \rho\sigma_x\sigma_y \\ \rho\sigma_x\sigma_y & \rho^2\sigma_y^2 + \sigma_y^2(1 - \rho^2) \end{pmatrix} \\
&= \begin{pmatrix} \sigma_x & 0 \\ \rho\sigma_y & \sqrt{\sigma_y^2(1 - \rho^2)} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \sigma_x & \rho\sigma_y \\ 0 & \sqrt{\sigma_y^2(1 - \rho^2)} \end{pmatrix}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\mathbf{C}_x &= \begin{pmatrix} \sigma_x & 0 \\ \rho\sigma_y & \sqrt{\sigma_y^2(1 - \rho^2)} \end{pmatrix} \\
\mathbf{C}_x^T &= \begin{pmatrix} \sigma_x & \rho\sigma_y \\ 0 & \sqrt{\sigma_y^2(1 - \rho^2)} \end{pmatrix}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\mathbf{C}_x^{-1} &= \frac{\mathbf{1}}{\sigma_x\sqrt{\sigma_y^2(1 - \rho^2)}} \begin{pmatrix} \sqrt{\sigma_y^2(1 - \rho^2)} & 0 \\ -\rho\sigma_y & \sigma_x \end{pmatrix} \\
&= \frac{\mathbf{1}}{\sigma_x\sigma_y\sqrt{(1 - \rho^2)}} \begin{pmatrix} \sigma_y\sqrt{(1 - \rho^2)} & 0 \\ -\rho\sigma_y & \sigma_x \end{pmatrix} \\
&= \begin{pmatrix} \frac{\sigma_x}{-\rho} & 0 \\ \frac{1}{\sigma_x\sqrt{(1 - \rho^2)}} & \frac{1}{\sigma_y\sqrt{(1 - \rho^2)}} \end{pmatrix}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\mathbf{r}_t &= \sum_{h=0}^{\infty} \theta^h \boldsymbol{\varepsilon}_{t-h} \\
&= \sum_{h=0}^{\infty} \theta^h (\mathbf{C}_x \mathbf{C}_x^{-1}) \boldsymbol{\varepsilon}_{t-h}
\end{aligned}$$



$$= \sum_{h=0}^{\infty} Imp_x(h) \mathbf{C}_x^{-1} \boldsymbol{\varepsilon}_{t-h}$$

Dengan fungsi impulse reponse nya adalah

$$Imp_x(h) = \theta^h \mathbf{C}_x$$

## BIODATA PENULIS



Azizah Widiasmara atau yang biasa dipanggil Azizah lahir di Bekasi, pada hari Kamis tanggal 29 Juni 1995. Penulis menempuh pendidikan di SDIT IQRO Bekasi, SMPN 128 Jakarta Timur, SMAN 67 Jakarta Timur dan saat ini sedang menempuh jenjang pendidikan S1 di Jurusan Matematika Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Penulis memiliki kegemaran membaca, khususnya buku yang menceritakan tentang biografi tokoh tokoh besar serta sejarah masa lalu. Di Jurusan Matematika ITS penulis mengambil bidang minat Matematika Terapan yang terdiri atas Pemodelan Matematika dan Riset Operasi dan Pengolahan data.

Jika ingin memberikan saran, kritik, dan diskusi mengenai Tugas Akhir ini, bisa melalui email [azizah.widiasmara@yahoo.com](mailto:azizah.widiasmara@yahoo.com)

Semoga bermanfaat



